MANUAL PARA EL **DESARROLLO DE FERROCARRILES** URBANOS

Daniel Pulido
Georges Darido
Ramón Muñoz-Raskin
Joanna Moody
Editores

GRUPO BANCO MUNDIAL

MANUAL PARA EL **DESARROLLO DE FERROCARRILES** URBANOS

MANUAL PARA EL **DESARROLLO DE FERROCARRILES** URBANOS

Daniel Pulido
Georges Darido
Ramón Muñoz-Raskin
y Joanna Moody
Editores

GRUPO BANCO MUNDIAL

© 2021 Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial
1818 H Street NW, Washington, DC 20433
Teléfono: 202-473-1000; sitio web: www.worldbank.org

Algunos derechos reservados.
1 2 3 4 23 22 21 20

La presente obra fue publicada originalmente por el Banco Mundial en inglés en 2018, con el título *The Urban Rail Development Handbook*. En caso de discrepancias, prevalecerá el idioma original.

Esta obra ha sido realizada por el personal del Banco Mundial con contribuciones externas. Las opiniones, interpretaciones y conclusiones aquí expresadas no son necesariamente reflejo de la opinión del Banco Mundial, de su Directorio Ejecutivo ni de los Gobiernos que representan. El Banco Mundial no garantiza la exactitud de los datos que figuran en esta publicación. Las fronteras, los colores, las denominaciones y demás datos que aparecen en los mapas de este documento no implican juicio alguno, por parte del Banco Mundial, sobre la condición jurídica de ninguno de los territorios, ni la aprobación o aceptación de tales fronteras.

Nada de lo establecido en el presente documento constituirá o se considerará una limitación de los privilegios e inmunidades del Banco Mundial o una renuncia a ellos, los cuales se reservan específicamente en su totalidad.

Derechos y autorizaciones

Esta publicación está disponible bajo la licencia Creative Commons de Reconocimiento 3.0 para Organizaciones Intergubernamentales (CC BY 3.0 IGO), http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo. En virtud de esta licencia, queda permitido copiar, distribuir, transmitir y adaptar esta obra, incluso con fines comerciales, en las siguientes condiciones:

Cita de la fuente:—La obra debe citarse de la siguiente manera: Pulido, Daniel, Georges Darido, Ramón Muñoz-Raskin y Joanna Moody, editores. (2021). *Manual para el desarrollo de ferrocarriles urbanos*, Washington, DC: Banco Mundial, doi:10.1596/978-1-4648-1596-6. Licencia: Creative Commons de Reconocimiento para Organizaciones Intergubernamentales (CC BY 3.0 IGO).

Traducciones:—En caso de que usted haga traducir la publicación, la cita de la fuente deberá ir acompañada de la siguiente nota de exención de responsabilidad: "La presente traducción no es obra del Banco Mundial y no deberá considerarse traducción oficial de dicho organismo. El Banco Mundial no responderá por el contenido ni los errores de la traducción".

Adaptaciones:—En caso de que se haga una adaptación de la presente publicación, la cita de la fuente deberá ir acompañada de la siguiente nota de exención de responsabilidad:"Esta es una adaptación de un documento original del Banco Mundial. Las opiniones y los puntos de vista expresados en esta adaptación son exclusiva responsabilidad de su autor o de sus autores y no están avalados por el Banco Mundial".

Contenido de terceros:—Téngase presente que el Banco Mundial no necesariamente es propietario de todos los componentes de esta obra, por lo que no garantiza que el uso de las partes que son propiedad de terceros no violará los derechos de estos. El riesgo de reclamación derivado de dicha violación correrá por exclusiva cuenta del usuario. En caso de que se desee reutilizar algún componente de esta obra, será responsabilidad del usuario determinar si debe solicitar autorización y obtener dicho permiso del propietario de los derechos de autor. Como ejemplos de componentes se pueden mencionar los cuadros, los gráficos y las imágenes, entre otros.

Cualquier consulta sobre derechos y licencias deberá enviarse a la siguiente dirección: World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, EE. UU.; correo electrónico: pubrights@worldbank.org.

ISBN (edición impresa): 978-1-4648-1596-6
ISBN (edición electrónica): 978-1-4648-1597-3
DOI: 10.1596/978-1-4648-1596-6

Fotografía de la portada: © SuperVia. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.
Diseño de la portada y del interior: Debra Naylor, Naylor Design, Washington, DC.

Número de control de la Biblioteca del Congreso: 2020914236.

ÍNDICE

Prólogo xxxiii
Agradecimientos xli
Agradecimientos de la Versión en Español del Manual xliii
Acerca de los editores y autores xlv
Siglas y abreviaturas li

CAPÍTULO 1. Introducción **3**
Joanna Moody, Georges Darido, Ramón Muñoz-Raskin y Daniel Pulido

Objetivos 5
Estructura 7
Información valiosa para los lectores 13
Mensajes transversales más importantes 15
Nota 21
Bibliografía 21
Lecturas adicionales 22

CAPÍTULO 2. El transporte público urbano de alta capacidad como oportunidad para el desarrollo sostenible e inclusivo **25**
Georges Darido y Joanna Moody

Transporte urbano socialmente inclusivo 27
El transporte urbano y los residentes de ingreso bajo 27
El transporte urbano y las mujeres 29
El transporte urbano y las personas con movilidad reducida 30
Marco conceptual: Las cuatro "A" 30

Amplia disponibilidad 32
Datos y herramientas analíticas para abordar la disponibilidad 32
Cómo abordar la disponibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto 35
Accesibilidad 37
Datos y herramientas analíticas para abordar la accesibilidad 38
Herramientas normativas para abordar la accesibilidad 42
Asequibilidad 44
Datos y herramientas analíticas para abordar la asequibilidad 45
Herramientas normativas para abordar la asequibilidad 49
Aceptabilidad 54
Cómo abordar la aceptabilidad durante la planificación y el diseño del proyecto 55
Cómo abordar la aceptabilidad durante la operación 56
Posibles efectos imprevistos del desarrollo de proyectos de transporte público de alta capacidad 58
Cómo garantizar que los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad funcionen para todos 59
Conclusiones y recomendaciones 61
Notas 63
Bibliografía 63
Lecturas adicionales 65

CAPÍTULO 3. La decisión de elaborar un proyecto ferroviario urbano 69

Georges Darido, Joanna Moody y Slobodan Mitrić

Estudios de diagnóstico del transporte urbano 73
Actividades de diagnóstico relacionadas con la demanda 74
Actividades de diagnóstico relacionadas con la oferta 74
Elaboración de modelos de demanda 75
El modelo tradicional de cuatro pasos 77
Modelos estratégicos o de esquema 78
Elaboración de modelos de la demanda en países de ingreso bajo y medio 79
Uso de los resultados de los modelos de demanda 80
Elaboración de una estrategia de movilidad urbana integrada 82
Generación de alternativas de inversión 84
Alternativas habituales 85
Nivel de diseño de las alternativas 91
Evaluación de las alternativas 92

Evaluación económica 93
Análisis multicriterio 100
Análisis financiero 102
Análisis fiscal 103
Examen de los resultados 104
Tratamiento de la incertidumbre en la evaluación de alternativas 105
Análisis de sensibilidad 106
Métodos probabilísticos 106
El camino desde el estudio hacia la decisión 107
Conclusiones y recomendaciones 110
Notas 112
Bibliografía 113
Lecturas adicionales 115

CAPÍTULO 4. Planificación de la gestión del proyecto 117

Ramón Muñoz-Raskin, Joanna Moody y Edward Fleischman

Organización de la gestión del proyecto 121
El equipo básico de gestión del proyecto 122
La función de los consultores 123
Fortalecimiento de la capacidad interna para la implementación del transporte ferroviario urbano 124
La importancia de la comunicación 126
La importancia de mantener parámetros comparativos 126
Herramientas fundamentales de planificación de la gestión del proyecto 127
Alcance del proyecto 128
Control de presupuesto y costos 129
Control del cronograma 131
Gestión de riesgos 135
La planificación de la gestión del proyecto a lo largo del proceso de elaboración del proyecto 137
Gestión de la planificación 140
Gestión del diseño 142
Gestión de la construcción 145
Puesta en marcha, pruebas y operación a corto plazo 146
Operación y mantenimiento a medio y largo plazo 147
Conclusiones y recomendaciones 147
Nota 150
Bibliografía 150
Lecturas adicionales 151

CAPÍTULO 5. Diseño de un proyecto ferroviario urbano 153
Georges Darido, Joanna Moody y Wenyu Jia

Desafíos clave en el diseño de los ferrocarriles urbanos 155
Normas de diseño 155
Diseño orientado a la capacidad necesaria a largo plazo 156
Compensaciones e interdependencias entre las características de diseño 158
Integración multimodal del diseño de los ferrocarriles urbanos 160
Características y opciones de diseño 161
Obra civil y de infraestructura 162
Material rodante 177
Sistemas 182
Estimación del costo de capital 189
Factores clave que impulsan los costos de capital 190
Métodos para la estimación de costos 191
Asignación de responsabilidades relacionadas con la estimación de costos 194
Variabilidad de los costos de capital 195
Factores externos determinantes de los costos 196
Conclusiones y recomendaciones 198
Notas 200
Bibliografía 200
Lecturas adicionales 201

CAPÍTULO 6. Optimización de proyectos 203
Edward Fleischman, Ramón Muñoz-Raskin y Joanna Moody

La optimización de proyectos durante el desarrollo de proyectos 206
Optimización a cargo del personal del proyecto: Análisis de valor 210
Análisis de riesgos 210
Análisis de costos del ciclo de vida 211
Optimización con la intervención de expertos externos 212
Revisión por pares 214
Ingeniería de valor 216
Estudios de la viabilidad de la construcción 224
Exámenes de operatividad 227
Estrategias alternativas de contratación 227
Diseño y construcción 228
Asociaciones público-privadas 229
Conclusiones y recomendaciones 230
Nota 233
Bibliografía 233
Lecturas adicionales 234

CAPÍTULO 7. Gestión de riesgos 237
Daniel Pulido y Ramiro Alberto Ríos

Gestión de riesgos en proyectos ferroviarios urbanos 239
Identificación de riesgos 241
Evaluación de riesgos 244
Mitigación de riesgos 247
Asignación o transferencia de riesgos 248
Tratamiento de los riesgos retenidos 250
Seguimiento de los riesgos 251
Principales riesgos posibles en proyectos ferroviarios urbanos 251
Riesgos de varias etapas 252
Riesgos previos al contrato 256
Riesgos inherentes al emplazamiento 259
Riesgos relacionados con el diseño, la construcción y la puesta en servicio 262
Riesgos operacionales 268
Transferencia de riesgos a través de una APP 275
Conclusiones y recomendaciones 278
Notas 280
Bibliografía 281
Lecturas adicionales 282

CAPÍTULO 8. Adquisiciones del proyecto 285
Daniel Pulido y Joanna Moody

Estrategia de adquisiciones 286
Los distintos modelos de ejecución de proyectos 288
Diseño, licitación y construcción o adquisición tradicional 288
Gerente de obras en riesgo 293
Diseño y construcción 295
Diseño, construcción y financiamiento 296
Ingeniería, adquisiciones y construcción o contratación llave en mano 297
Asociaciones público-privadas 298
La elección del mejor modelo de ejecución de proyectos 302
Factores determinantes relacionados con el proyecto 303
Factores determinantes relacionados con el propietario del proyecto 306
Factores determinantes relacionados con el marco jurídico y regulatorio 309
Factores determinantes relacionados con el mercado 310
Factores determinantes relacionados con el riesgo 313
Elección de un mecanismo de compensación 313
Precio fijo 314
Precio reembolsable 316

Precio máximo garantizado 316
Elección y diseño del proceso de licitación 318
Elección del proceso de licitación 318
Diseño del proceso de licitación 322
Requisitos de adquisiciones de los BMD 324
Conclusiones y recomendaciones 325
Anexo 8A. Requisitos de calificación y resultados correspondientes a adquisiciones de proyectos ferroviarios urbanos recientes 328
Notas 333
Bibliografía 334
Lecturas adicionales 335

CAPÍTULO 9. Estructuración de asociaciones público-privadas 337

Daniel Pulido y Cledan Mandri-Perrott

Experiencia con las asociaciones público-privadas en el transporte ferroviario urbano 338
Primeras experiencias de participación del sector privado en proyectos ferroviarios urbanos: enseñanzas 339
Experiencias recientes de participación del sector privado en proyectos ferroviarios urbanos 339
Fundamentos de la utilización de asociaciones público-privadas 342
Valor por Dinero 342
Complementación de los recursos públicos limitados 344
Capacidad institucional para implementar las asociaciones público-privadas 344
El espectro de participación del sector privado 345
Concesiones de operación y mantenimiento 346
Asociaciones público-privadas verticalmente integradas 346
El ciclo del proceso de APP 349
Preparación 350
Implementación y adquisiciones 353
Gestión de contratos 357
La estructura del proyecto de asociación público-privada 357
Estructuración del alcance del proyecto 359
Uno o más contratos: contratación agrupada o desagrupada 359
Plazo del contrato 366
Estructuración de riesgos 367
Estructuración de las compensaciones 368
Pagos durante la construcción o cofinanciamiento público 369
Pagos durante la operación 369
Otras disposiciones sobre las compensaciones 376

Gestión y control del desempeño 377
Especificación de los objetivos de desempeño y ponderación de los indicadores clave de desempeño 379
Vinculación de las especificaciones de desempeño con los pagos 380
Conclusiones y recomendaciones 383
Annex 9A. Asignación de riesgos relacionados con las asociaciones público-privadas en proyectos de desarrollo ferroviario urbano 386
Notas 408
Bibliografía 408
Lecturas adicionales 409

CAPÍTULO 10. Maximización de los fondos y el financiamiento 411
Daniel Pulido y Cledan Mandri-Perrott

Fondeo versus financiamiento 412
Fuentes de fondos 414
Ingresos públicos 416
Ingresos tarifarios 417
Ingresos comerciales no tarifarios 418
Captura del valor del suelo 422
Otros ingresos 425
Financiamiento privado versus público 429
Financiamiento público 431
Financiamiento municipal o subnacional 431
Bonos verdes 432
Financiamiento del Gobierno nacional 433
Financiamiento oficial para el desarrollo 434
Valores respaldados por el Gobierno o financiamiento público estructurado 436
Exenciones de impuestos 437
Contribuciones en especie 438
Financiamiento privado 439
Inversionistas en capital social 439
Bancos comerciales 440
Mercados de capital (inversionistas institucionales) 440
Financiamiento para las APP en el transporte ferroviario urbano 443
Cofinanciamiento público 444
Financiamiento privado 447
Bancabilidad 449
Instrumentos de apoyo y mejora crediticia 453
Disposiciones contractuales 453
Instrumentos extracontractuales 455

Conclusiones y recomendaciones 462
Notas 465
Bibliografía 466
Lecturas adicionales 467

CAPÍTULO 11. Preparación para la construcción 469

Sofía Guerrero Gámez, Joanna Moody y Ramón Muñoz-Raskin

Estudios previos 470
Investigación geotécnica del emplazamiento 472
Estudio ambiental, de salud y de seguridad 474
Evaluación del impacto social 475
Funciones del organismo de ejecución del proyecto 477
Adquisición de terrenos y secuencia de las obras 477
La gestión de los grupos de interés y la participación de la comunidad 478
Fortalecimiento de la capacidad técnica dentro del organismo de ejecución del proyecto 482
Construcción de ferrocarriles urbanos a nivel 483
Consideraciones especiales para los sistemas a nivel 483
Método de construcción para los sistemas a nivel 485
Construcción de ferrocarriles urbanos elevados 486
Consideraciones especiales para los sistemas elevados: uso del espacio de estructura de soporte 486
Método de construcción para los sistemas elevados 487
Construcción de ferrocarriles urbanos subterráneos 491
Estudios previos especiales para sistemas subterráneos 492
Métodos de construcción para los sistemas subterráneos 497
Elección del método de construcción adecuado para tramos subterráneos 509
Conclusiones y recomendaciones 511
Notas 512
Bibliografía 513
Lecturas adicionales 513

CAPÍTULO 12. Organización institucional y gestión de los ferrocarriles urbanos 515

Georges Darido y Joanna Moody

Gestión de transporte para la región metropolitana 517
Marco institucional para la implementación y las operaciones de los ferrocarriles urbanos 519
La autoridad 520
El organismo de ejecución o gestión del proyecto 522

El operador 523
Factores de éxito en el establecimiento de instituciones de ferrocarriles urbanos 524
Evaluación temprana y exhaustiva del marco institucional 524
Énfasis en la estructuración del proyecto 525
La transición de la elaboración del proyecto a la operación del sistema 525
Incorporación del conocimiento operativo en la autoridad y el organismo 527
La importancia del liderazgo técnico y político 527
Fomento de la adaptabilidad institucional 529
Espectro de estructuras organizativas para operadores de transporte ferroviario urbano 530
Operador público 531
Compañías públicas 535
Privatización parcial 536
Operador privado 536
Facultad del operador 540
Responsabilidades y objetivos de desempeño claros 541
Sostenibilidad financiera 543
Un marco de gestión eficaz con autonomía 545
Conclusiones y recomendaciones 549
Notas 552
Bibliografía 552
Lecturas adicionales 553

CAPÍTULO 13. Garantía de sostenibilidad financiera y operacional 555

Georges Darido, Joanna Moody y Wenyu Jia

Planificación de servicios de operación 557
Planificación de servicios especiales u ocasionales 559
Designación del personal y la tripulación 560
Seguimiento del desempeño de la operación 561
Establecimiento de indicadores de desempeño de la operación y recopilación de datos 561
Determinación de la frecuencia de presentación de informes 569
Síntesis y comunicación eficaz de resultados 570
Gestión de activos 570
Necesidades y proceso en la gestión de activos 571
Inventario de activos 571
Priorización de las necesidades de activos 572
Gestión del mantenimiento 574
Tipos de enfoques de mantenimiento 574
Personal e instalaciones 578
Períodos exclusivos de mantenimiento 579
Gestión fiscal 580

Costos ordinarios 583
Ingresos de operación 586
Conclusiones y recomendaciones 589
Notas 591
Bibliografía 591

CAPÍTULO 14. Tratamiento de los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos 595
Carlos T. Pérez-Brito

Impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos 597
Adquisición de terrenos y reasentamiento 602
Desplazamiento económico 605
Impactos visuales 612
Patrimonio cultural 613
Gentrificación y cambios en la composición del vecindario 614
Métodos para evaluar y mitigar los impactos sociales 618
Evaluación del impacto ambiental y social 620
Sistemas de gestión ambiental y social 623
Planes de gestión ambiental y social 623
La importancia de la participación de la comunidad y de los grupos de interés 626
Conclusiones y recomendaciones 632
Notas 634
Bibliografía 634
Lecturas adicionales 636

CAPÍTULO 15. Gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad 639
Robert Montgomery

El medio ambiente, la salud y la seguridad en la planificación y el diseño de un proyecto 641
Análisis de alternativas 642
Sostenibilidad ambiental 643
Costos en concepto de MASS del proyecto y gestión de riesgos financieros 647
Evaluación de impactos y riesgos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad 653
Evaluación del impacto ambiental y social 653
Posibles impactos y riesgos relacionados con MASS 658
Gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad 663
Plan de gestión de MASS 663
Sistema de gestión de MASS 666

Programas de seguimiento y supervisión de MASS 668
Funciones y responsabilidades en materia de MASS 670
Informes sobre MASS 674
Licitaciones, contratos y gestión de contratos 676
Gestión de MASS adaptable 679
Conclusiones y recomendaciones 682
Anexo 15A. Detalles sobre programas de PGAS específicos en proyectos ferroviarios urbanos 684
Nota 690
Bibliografía 690
Lecturas adicionales 692

CAPÍTULO 16. Mejora de la accesibilidad y la forma urbana 695

Felipe Targa y Jean Paul Vélez

Conceptualización de los sistemas ferroviarios urbanos más allá de la mejora de la movilidad 698
Accesibilidad regional 699
Accesibilidad local 700
Accesibilidad universal 706
Capitalización de los beneficios en términos de accesibilidad 708
Desarrollo orientado al transporte público: capitalización de los atributos que generan valor 712
Tipologías de desarrollo orientado al transporte 715
Aplicación del enfoque de las "3 V" 719
El DOT y las estrategias de generación de valor 722
Eliminación de obstáculos en la implementación del DOT 727
Obstáculos en la implementación del DOT 727
El DOT y la gentrificación 731
Uso de la captura del valor del suelo para aplicar el DOT 732
Implementación del DOT: creación de una coalición de apoyo 737
Participación de la comunidad local 739
El defensor político 739
Participación del sector privado 740
Inclusividad social 740
Conclusiones y recomendaciones 741
Notas 742
Bibliografía 743
Lecturas adicionales 745

CAPÍTULO 17. Resiliencia a los peligros climáticos y naturales en proyectos ferroviarios urbanos 747

Juliet Mian, Matthew Free, Áine Ní Bhreasail y Savina Carluccio

Cómo afectan los peligros climáticos y naturales a los sistemas ferroviarios urbanos 749
Impacto de los peligros climáticos y naturales en la infraestructura ferroviaria física 749
Reconocer la posibilidad de que se produzcan fallas en cascada 753
Previsión o pronóstico de peligros climáticos y naturales 755
Cómo abordar la incertidumbre 756
Enseñanzas extraídas de los fenómenos históricos 757
Evaluación de riesgos 759
El valor de la resiliencia 759
Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en las instituciones de transporte ferroviario urbano 763
Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en los proyectos ferroviarios urbanos durante la planificación 765
Selección de una estrategia de resiliencia 765
Medidas de resiliencia 767
Un enfoque de sistemas para la planificación del transporte ferroviario urbano 769
Requisitos de desempeño de un sistema ferroviario urbano 771
Análisis de vulnerabilidad 773
Evaluación de la importancia crítica 773
Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en el diseño y la construcción de un sistema ferroviario urbano 774
Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en la operación y el mantenimiento 780
Gestión y mantenimiento de activos 780
Preparación y respuesta operacionales 782
Coordinación con los grupos de interés para incorporar la resiliencia en el desarrollo y la operación de ferrocarriles urbanos 786
Funciones del sector público 787
Funciones del sector privado 788
Funciones de los círculos académicos 789
La comunicación con el público 789
Instrumentos para abordar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales 789
Conclusiones y recomendaciones 791
Anexo 17A. Peligros geofísicos, hidrológicos, meteorológicos y climatológicos, y sus impactos en el transporte ferroviario urbano 793
Notas 802
Bibliografía 803
Lecturas adicionales 805
Otros recursos 806

RECUADROS

Recuadro 1.1.	Definición del proceso de desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos	8
Recuadro 2.1.	Integración multimodal de un sistema ferroviario urbano desde el inicio del desarrollo del proyecto: Quito, Ecuador	33
Recuadro 2.2.	Análisis de la disponibilidad de transporte público en una evaluación geográfica desglosada de los efectos sobre la pobreza: Río de Janeiro, Brasil	34
Recuadro 2.3.	Mejora de la accesibilidad regional: línea 2 del metro de Lima, Perú	39
Recuadro 2.4.	Subsidios específicos a las tarifas de transporte público para trabajadores y personas que buscan empleo	53
Recuadro 3.1.	Principales componentes de una estrategia de movilidad urbana integrada	83
Recuadro 3.2.	Comparación ilustrativa de los horizontes temporales de la evaluación económica de las alternativas de BRT y transporte ferroviario	97
Recuadro 3.3.	Reducción de las tasas de descuento de los proyectos de infraestructura pública con impactos a largo plazo: Reino Unido y Francia	100
Recuadro 4.1.	La importancia de la planificación de la gestión del proyecto para fortalecer la confianza de los grupos de interés en organismos sin experiencia: Washington, DC, línea plateada	119
Recuadro 4.2.	Ejemplos de la capacitación de la fuerza laboral en la construcción de sistemas ferroviarios urbanos: la TUCA y el Programa de Pasantías de Crossrail en Londres, Reino Unido	124
Recuadro 4.3.	Contenido obligatorio del Plan de Gestión del Proyecto del Programa New Starts de la FTA de los Estados Unidos	139
Recuadro 4.4.	Modelado de información de construcción en el Reino Unido y México	143
Recuadro 5.1.	La importancia de los patios de mantenimiento para el diseño del sistema ferroviario urbano	175
Recuadro 5.2.	Niveles de operaciones automatizadas sin supervisión	185
Recuadro 5.3.	Ejemplo de categorías de costos de capital, incluidos los servicios profesionales, para proyectos ferroviarios urbanos	191
Recuadro 6.1.	Ejecución en fases y análisis de las opciones reales	208
Recuadro 6.2.	El presupuesto de construcción en comparación con el presupuesto de operación y mantenimiento: el metro de Madrid, España	212
Recuadro 6.3.	Norma de metodología de valor de SAVE International	219
Recuadro 6.4.	Uso de la ingeniería de valor para la optimización de un proyecto: paso a desnivel de Metra en Chicago	221
Recuadro 6.5.	Uso de la ingeniería de valor en un contexto de país de ingreso medio: línea 1 del metro, Bogotá, Colombia	223
Recuadro 7.1.	La importancia de contar con un registro de riesgos	241
Recuadro 7.2.	Identificación temprana de riesgos en el taller de gestión de riesgos: línea 1 del metro, Bogotá (Colombia)	243

Recuadro 7.3.	Gestión de los riesgos geológicos a través de un informe geotécnico de referencia	261
Recuadro 7.4.	Problemas de interfaces: red de Ferrocarriles Expresos Regionales, Francia	267
Recuadro 7.5.	Gestión del riesgo de demanda en un contexto de APP: línea 4 del metro de São Paulo y línea de Vancouver (Canadá)	271
Recuadro 7.6.	Desarrollo de una matriz de riesgos para un proyecto de APP: líneas 6 y 18 de São Paulo (Brasil)	276
Recuadro 8.1.	Ejemplos de ejecución de proyectos con contratos múltiples para proyectos ferroviarios urbanos en Estados Unidos	290
Recuadro 8.2.	Consideración de los factores determinantes relacionados con el mercado en el análisis de las alternativas: línea 18 de São Paulo (Brasil)	311
Recuadro 8.3.	Mecanismos de determinación de precios de los contratos: línea 1 del metro de Quito y línea 4 del metro de São Paulo	317
Recuadro 8.4.	La importancia de promover la competencia en las adquisiciones de material rodante: Río de Janeiro (Brasil)	320
Recuadro 9.1.	Concesiones de operación en Río de Janeiro, Brasil, y Buenos Aires, Argentina	347
Recuadro 9.2.	La influencia de un operador público en la decisión de establecer una asociación público-privada	348
Recuadro 9.3.	Evaluación preliminar de una asociación público-privada: línea 1 del metro de Bogotá, Colombia	351
Recuadro 9.4.	La Corporación Financiera Internacional como asesora de transacciones para la zona metropolitana de Manila, Filipinas	355
Recuadro 9.5.	Ejemplos de contratos desagrupados de asociación público-privada	361
Recuadro 9.6.	Establecimiento de las tarifas: fase 2 del Metrolink de Manchester, Reino Unido	372
Recuadro 9.7.	Indicadores clave de desempeño y sistemas de gestión del desempeño en asociaciones público-privadas: línea 1 de Lima, Perú, y línea 4 de São Paulo, Brasil	380
Recuadro 10.1.	Financiamiento municipal de la Corporación Financiera Internacional para proyectos ferroviarios urbanos: Turquía	432
Recuadro 10.2.	Emisión de bonos verdes para financiar inversiones en transporte ferroviario urbano	433
Recuadro 10.3.	Financiamiento a través de valores respaldados por el Gobierno: línea 2 del metro de Lima (Perú)	436
Recuadro 10.4.	Exenciones de impuestos para proyectos ferroviarios urbanos en Brasil y Ecuador	437
Recuadro 10.5.	Contribuciones en especie para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos	438
Recuadro 10.6.	Eliminación de obstáculos al cofinanciamiento público de proyectos de asociaciones público-privadas: líneas 6 y 18 del metro, São Paulo (Brasil)	446

Recuadro 10.7.	Programa de asistencia de la Ley de Financiamiento e Innovación de Infraestructura de Transporte en los Estados Unidos	459
Recuadro 10.8.	Garantías de IOFS del Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones para proyectos ferroviarios urbanos	460
Recuadro 10.9.	Movilización de varios instrumentos de financiamiento: línea 2 del metro, Lima (Perú)	462
Recuadro 11.1.	Uso del espacio debajo de la infraestructura elevada de vías: experiencia internacional y factores de éxito	488
Recuadro 11.2.	Buena práctica para el manejo del material de excavación: Crossrail, Londres	496
Recuadro 12.1.	Principios para el desarrollo y la coordinación institucional del transporte regional	518
Recuadro 12.2.	Búsqueda temprana de experiencia externa al establecer un nuevo organismo de ejecución para un proyecto ferroviario urbano: Bogotá, Colombia	525
Recuadro 12.3.	La transición de una organización centrada en la construcción a las operaciones: Washington, DC	526
Recuadro 12.4.	Ejemplo de una entidad pública que funciona simultáneamente como el organismo de ejecución del proyecto y como el operador, con la ayuda de expertos externos: la Sociedad Anónima Metro de Panamá	528
Recuadro 12.5.	Ejemplo de operaciones de los ferrocarriles urbanos públicos dependientes de una autoridad metropolitana de transporte: Strathclyde Partnership for Transport, Glasgow, Escocia	532
Recuadro 12.6.	Ejemplo de un operador de transporte ferroviario urbano parcialmente privatizado: MTRC Limited en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China	537
Recuadro 12.7.	Ejemplo de un operador de transporte ferroviario urbano privado: ViaQuatro en São Paulo, Brasil	539
Recuadro 12.8.	Mecanismos para establecer responsabilidades y objetivos de desempeño claros entre los operadores	542
Recuadro 12.9.	Las consecuencias negativas del fondeo anual: Washington, DC	544
Recuadro 12.10.	El impacto de los diferentes niveles de control sobre el entorno operativo: comparación entre Londres (Reino Unido) y São Paulo (Brasil)	545
Recuadro 13.1.	Uso de personal multifuncional para la mejora de la operación: Barcelona y Guangzhou	560
Recuadro 13.2.	Las medidas de fiabilidad orientadas al operador en comparación con aquellas orientadas al pasajero	564
Recuadro 13.3.	Gestión del mantenimiento durante todo el ciclo de vida	576
Recuadro 13.4.	Ejemplo de programa de mejoras de capital y presupuestos de gastos de operación: Autoridad de Tránsito de Chicago	581
Recuadro 13.5.	Diferencias entre los costos de O&M en sistemas de trenes metropolitanos y sistemas de metro: región metropolitana de la Ciudad de Nueva York	584

Recuadro 14.1.	Ejemplo de evaluación de un corredor y de inventario del impacto social: metro de Quito, Ecuador	598
Recuadro 14.2.	Reasentamiento específico y planificación de la compensación para diferentes hogares y unidades comerciales: línea 2 del metro de Lima	603
Recuadro 14.3.	Reubicación de la escuela secundaria n.º 28: Nanchang, China	611
Recuadro 14.4.	Ejemplos de evaluación del patrimonio cultural: metro de Lima (Perú) y metro de Quito (Ecuador)	615
Recuadro 14.5.	Guías y herramientas de clasificación para la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura y transporte	619
Recuadro 14.6.	El Marco Ambiental y Social del Banco Mundial	620
Recuadro 14.7.	El valor de la gestión de riesgos sociales y ambientales en proyectos de infraestructura	625
Recuadro 14.8.	Generación de la cultura metro: Medellín, Colombia	630
Recuadro 15.1.	Problemas relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad: línea 1 del metro de Quito (Ecuador)	644
Recuadro 15.2.	Estudio de las responsabilidades relacionadas con el medio ambiente, la salud y la seguridad Línea 5 de São Paulo (Brasil)	646
Recuadro 15.3.	Protección de especies en peligro de extinción y mitigación de impactos ambientales: línea plateada, Washington, DC (Estados Unidos)	648
Recuadro 15.4.	Riesgos financieros representativos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad	649
Recuadro 15.5.	Un sistema ferroviario urbano más moderno y ecológico: Río de Janeiro (Brasil)	651
Recuadro 15.6.	La necesidad de mantener la gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad más allá de las demoras en el proyecto y los cambios de contratistas: línea 4 del metro de São Paulo (fase II) (Brasil)	652
Recuadro 15.7.	EIAS o plan de acción de MASS adicionales para cumplir con los requisitos de las instituciones financieras: línea 2 del metro de Lima (Perú)	655
Recuadro 15.8.	Buenas prácticas de evaluación del impacto ambiental y social: proyecto ferroviario urbano de Nanchang (China)	656
Recuadro 15.9.	Mejoras de seguridad en un sistema ferroviario suburbano existente: Mumbai (India)	664
Recuadro 15.10.	Plataforma de Conocimiento sobre Construcción Ambientalmente Sostenible de Infraestructura en América Latina y el Caribe	682
Recuadro 16.1.	Escala de la inversión en ferrocarriles urbanos y su capacidad para determinar la forma urbana: línea 2 del metro de Lima, Perú	696
Recuadro 16.2.	Equilibrio de la demanda a través de la urbanización de uso mixto específica: el Plan del "Conjunto de Planetas" de Estocolmo	701
Recuadro 16.3.	Análisis de la accesibilidad a empleos con las mejoras de la accesibilidad local: metro de Zhengzhou, China	705

Recuadro 16.4.	Planificación para la accesibilidad y el aumento del valor urbano: Mass Transit Railway Corporation en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China	710
Recuadro 16.5.	Valor del nodo y place making en la Estación de Atocha: Madrid, España	716
Recuadro 16.6.	Activación del potencial de un nodo no equilibrado: estación de ferrocarril King's Cross, Londres, Reino Unido	720
Recuadro 16.7.	Los ocho principios del desarrollo orientado al transporte público inclusivo y resiliente	725
Recuadro 17.1.	Respuesta a la supertormenta Sandy: Ciudad de Nueva York	751
Recuadro 17.2.	Medidas de mitigación de inundaciones: Bangkok (Tailandia)	757
Recuadro 17.3.	El valor de la resiliencia: Cowley Bridge Junction (Reino Unido)	761
Recuadro 17.4.	Requisitos de desempeño de Japón	775
Recuadro 17.5.	Diseño del túnel de Marmaray: Estambul (Turquía)	778

GRÁFICOS

Gráfico 2.1.	Curva de beneficios de Lorenz e indicadores relacionados	48
Gráfico 2.2.	Tipología de los subsidios, por mecanismo de selección y fuente de financiamiento	52
Gráfico 3.1.	Pasos para determinar si se elabora un proyecto ferroviario urbano	71
Gráfico 3.2.	Proceso y resultados del modelo de demanda de viajes de cuatro pasos	78
Gráfico 3.3.	Comparación del costo inicial y la capacidad en modalidades de transporte público de alta capacidad	90
Gráfico B3.2.1.	Ejemplo de flujo neto de beneficios y costos de una alternativa de BRT y de ferrocarriles urbanos durante un horizonte de evaluación de 50 años	98
Gráfico 3.4.	Diagrama de un análisis de alternativas para decidir cuáles alternativas son factibles y cuáles deben considerarse con más detenimiento	108
Gráfico 4.1.	Alcance, presupuesto y cronograma: tres variables fundamentales en las que debe centrarse la gestión	128
Gráfico 4.2.	Ejemplo de un cronograma simplificado de la ruta crítica para un proyecto ferroviario urbano representado como un diagrama de Gantt	132
Gráfico 4.3.	Ejemplo de un cronograma geográfico, que incluye elementos lineales y no lineales	134
Gráfico 5.1.	Influencia de las interdependencias entre las características del diseño en el desempeño y el costo del proyecto	159
Gráfico 5.2.	Categorías clave y ejemplos de características del diseño para un sistema ferroviario urbano	162
Gráfico 5.3.	Esquema de los diferentes tipos de diseños de andenes de estaciones	172
Gráfico B5.2.1.	Diagrama de niveles del grado de automatización	185
Gráfico 6.1.	Fases del proceso de revisión por pares	215

Gráfico B6.3.1.	Ilustración del proceso de ingeniería de valor de seis fases	219
Gráfico 7.1.	Matriz simple de tolerabilidad de riesgos para un proyecto ferroviario urbano	245
Gráfico 7.2.	Categorización de riesgos para proyectos ferroviarios urbanos	252
Gráfico 8.1.	Opciones durante la definición de una estrategia de adquisiciones	287
Gráfico 8.2.	Métodos de ejecución de proyectos ferroviarios urbanos	289
Gráfico 8.3.	Momentos de selección de modelos de ejecución de proyectos	303
Gráfico 9.1.	Proyectos ferroviarios urbanos con participación del sector privado en economías de ingreso bajo y medio, 1990-2016	340
Gráfico 9.2.	Espectro de participación del sector privado	345
Gráfico 9.3.	El ciclo del proceso APP	350
Gráfico 9.4.	Ejemplo de relaciones contractuales en una estructura de asociación público-privada de transporte ferroviario urbano	352
Gráfico 9.5.	Ejemplo de relaciones de flujos de efectivo en una estructura de asociación público-privada de transporte ferroviario urbano	353
Gráfico 9.6.	Enfoque de contratación agrupada (unificada) y enfoque de contratación desagrupada para la participación privada	360
Gráfico 10.1.	Proporciones de ingresos tarifarios en sistemas ferroviarios urbanos de todo el mundo	415
Gráfico 10.2.	Pagos de contribución de capital público al concesionario: línea 2 del metro de Lima	445
Gráfico 11.1.	Costo de la curva de cambios de diseño	471
Gráfico 11.2.	Relación entre el riesgo y los recursos invertidos en los estudios preliminares del proyecto	472
Gráfico 11.3.	Pasos para realizar un análisis de riesgos de asentamiento y elaborar el plan de mitigación correspondiente para la construcción subterránea	494
Gráfico 11.4.	Ilustración de construcción de falso túnel ascendente y descendente	498
Gráfico 11.5.	Método belga de excavación tradicional de túneles	500
Gráfico B12.4.1.	Estructura organizativa del diseño y la construcción de la línea 1 del metro a cargo de la secretaría de la presidencia de la República: Panamá, 2011	528
Gráfico 12.1.	Espectro de estructuras organizativas para operadores de transporte ferroviario urbano	530
Gráfico 12.2.	Porcentaje de personal dedicado a las diferentes áreas técnicas, incluida la operación de ferrocarriles urbanos, año fiscal 2014	548
Gráfico 13.1.	Ciclo sostenible de las operaciones de transporte ferroviario urbano	556
Gráfico 13.2.	Ejemplo de medición e informe del volumen máximo de carga	565
Gráfico 13.3.	Densidad de pasajeros en andén: Union Station de la WMATA, Washington, DC	569
Gráfico 13.4.	Ejemplo de un sistema jerárquico de activos en cuatro niveles para el transporte ferroviario urbano	572
Gráfico 13.5.	Priorización de activos mediante el uso de varios criterios	573
Gráfico 13.6.	Uso de un período nocturno de mantenimiento de cinco horas	580

Gráfico B13.4.1.	Ejemplo de gastos asignados para el programa de mejoras de capital, por categoría de activo, 2017-21	582
Gráfico B13.4.2.	Ejemplo de un presupuesto de gastos de operación, 2017	582
Gráfico 13.7.	Desglose de gastos de operación en un sistema ferroviario urbano de Turquía, 2014	586
Gráfico 13.8.	Datos sobre gastos e ingresos de operación totales obtenidos de los grupos dedicados al establecimiento de parámetros comparativos sobre sistemas de metro CoMET y Nova, donde se muestra la tasa de compensación de boleto (correspondientes a 1994-2009)	587
Gráfico 14.1.	Dimensiones y variables sociales a nivel de los tramos y las estaciones	597
Gráfico B14.1.1.	Evaluación básica de corredor por tramos y estaciones: metro de Quito, Ecuador	601
Gráfico 14.2.	Evaluación de los impactos distributivos ambientales, sociales y económicos	618
Gráfico 14.3.	Análisis de alternativas del proyecto conforme a un marco de análisis multicriterio	622
Gráfico 14.4.	Relaciones complejas entre los grupos de interés de un proyecto ferroviario urbano	627
Gráfico B16.2.1.	Planes integrados de uso del suelo y movilidad para la Región de Estocolmo	702
Gráfico 16.1.	La metodología "Power of 10+" para transformar ciudades a través del *place making*	726
Gráfico 17.1.	Los peligros primarios pueden afectar los sistemas ferroviarios urbanos o desencadenar peligros secundarios	751
Gráfico 17.2.	Ejemplos de sistemas interdependientes de infraestructuras urbanas que causan fallas en cascada	754
Gráfico 17.3.	Jerarquía institucional de las instituciones ferroviarias	764
Gráfico 17.4.	Marco ilustrativo de gestión adaptativa de sistemas de infraestructura (comparado con un enfoque preventivo o un enfoque reactivo o de "no hacer nada")	767
Gráfico 17.5.	Cuatro componentes de un marco de resiliencia centrado en un fenómeno, con diferentes categorías de medidas de resiliencia	769
Gráfico 17.6.	Ejemplo de medidas de resiliencia que pueden aplicarse a un desarrollo de ferrocarriles urbanos	770
Gráfico 17.7.	Sistema de alerta temprana de terremotos de Japón	784

MAPAS

Mapa P.1.	Experiencia del Grupo Banco Mundial con proyectos ferroviarios urbanos en América Latina y el Caribe, 2007-17	xxxv
Mapa P.2.	Experiencia del Grupo Banco Mundial con proyectos ferroviarios urbanos en Europa oriental y Asia, 2007-17	xxxvi
Mapa B2.1.1.	Integración física entre líneas de BRT, trolebuses y la línea 1 del metro de Quito	33
Mapa B2.2.1.	Cobertura del transporte masivo e ingresos familiares: Río de Janeiro, Brasil	34

Mapa B2.3.1. Aumento general en el número de empleos a los que puede accederse a través del transporte público en 60 minutos: línea 2 del metro de Lima 39
Mapa B2.3.2. Aumento en el número de empleos a los que puede accederse a través del transporte público en 60 minutos para las zonas de ingreso bajo: línea 2 del metro de Lima 40
Mapa B16.3.1. Accesibilidad a empleos en diferentes escenarios de integración multimodal en Zhengzhou, China 705

IMAGENES

Imagen B4.1.1. Obra en construcción en Fairfax (Virginia) correspondiente a la fase I de la línea plateada del metro al Aeropuerto Internacional de Washington-Dulles 120
Imagen B4.2.1. Ingenieros y otros profesionales locales conectados con contratistas a través del Programa de Pasantías de Crossrail 125
Imagen B4.4.1. BIM del corredor de servicios públicos debajo del área de boleterías de Liverpool Street: Crossrail, Londres 143
Imagen 5.1. Puertas de andén (o de borde) de altura media: estación Kwai Hing, Sistema Ferroviario Metropolitano (MTR) de Hong Kong, Región Administrativa Especial de Hong Kong, China 173
Imagen 5.2. Puertas de andén de altura completa: estación Raffles Place, Singapur 174
Imagen B5.1.1. Área de almacenamiento actual a nivel de superficie *(izquierda)* y modelo de restitución futura de la superficie luego del enterramiento *(derecha)* para Cuatro Caminos 176
Imagen B5.1.2. Espacio reservado para la posible ampliación futura del área de almacenamiento de Villaverde 176
Imagen B6.1.1. Autopista y puente ferroviario sobre el río Tajo, Portugal 209
Imagen B7.4.1. Material rodante Bombardier B82500 operado por la SNCF en su servicio de Tren Expreso Regional (TER) 267
Imagen B8.4.1. Nuevo tren adquirido con financiamiento del Banco Mundial junto a modelo más viejo aún en servicio 320
Imagen B9.1.1. Tren subterráneo (subte) de Buenos Aires, operado por el concesionario privado, Metrovías 347
Imagen B9.4.1. Tren LRT en la estación EDSA, Manila, Filipinas, 2017 355
Imagen 9.1. Tranvía de la Fase 1 del Metrolink de Manchester, 2011, Reino Unido 365
Imagen 9.2. Tranvía de la Fase 2 del Metrolink de Manchester, 2015, Reino Unido 365
Imagen B9.7.1. Pasajeros esperan el tren en la Estación Gamarra, metro de Lima, Perú, 2012 381
Imagen 10.1. Publicidad en el andén de la estación de metro de Gloucester, Londres, 2012 419
Imagen 10.2. Actividad comercial en restaurantes y tiendas en la estación Hua Lamphong: Bangkok (Tailandia) 420
Imagen 10.3. Señales que indican cargos por congestión en la zona central: Londres (Reino Unido) 429

Imagen 11.1.	Líneas elevadas de ferrocarril interurbano de alta velocidad y líneas de ferrocarril urbano a nivel, con cruce de paso elevado de carretera y paso flotante para peatones: Tokio, Japón	484
Imagen B11.1.1.	Creación de espacios comunales de cultura, arte y seguridad debajo de las líneas férreas: línea 1 del metro de Lima	488
Imagen B11.1.2.	La actividad comercial prospera debajo de las vías de trenes elevados: estación Yarakucho, Tokio, Japón	489
Imagen 11.2.	Construcción de la plataforma sobre soportes verticales: línea Plateada, ciudad de Washington	490
Imagen B11.2.1.	Reserva natural Jubilee Marsh en Wallasea Island, creada con material de excavación de Crossrail	496
Imagen 11.3.	Construcción de una estación utilizando el método alemán en la línea 6 del metro: Madrid, España	502
Imagen 11.4.	Tuneladora Victoria descendiendo hasta el pozo de entrada	504
Imagen 11.5.	Una de las tuneladoras de Crossrail con suministro trasero de energía, agua y dovelas de concreto	505
Imagen 11.6.	Construcción de túnel *in situ* en la línea 12 Metro Sur: Madrid, España	508
Imagen B12.3.1.	Pasajeros varados mientras el tren se encuentra inmovilizado en la estación durante más de una hora debido a demoras por razones de mantenimiento, Washington, DC	526
Imagen B12.5.1.	Conexiones intermodales en la estación de West Street, metro de Glasgow, 2011	533
Imagen 13.1.	Niveles y acceso vertical en espacio frontal antes de los torniquetes de validación de boletos en la Union Station, Washington, DC (izquierda), y junto a un andén en Buenos Aires (derecha)	568
Imagen 13.2.	Locomotora en reparación en un centro de mantenimiento del tren metropolitano: MBTA, Boston, Massachusetts	579
Imagen 14.1.	Acceso a residencias y negocios durante la construcción: metro de Quito, Ecuador	607
Imagen 14.2.	Uso de drones para realizar una evaluación rápida de vendedores callejeros cerca de una estación: metro de Lima	608
Imagen 14.3.	Estación central que integra ladrillos, colores y texturas para minimizar el impacto visual y aumentar la compatibilidad con la arquitectura existente: metro de Medellín, Colombia	612
Imagen 14.4.	Excavación de lo que se sospechaba era una fosa con restos de la peste negra de 1665 en las calles de Liverpool: Crossrail, Londres	614
Imagen B14.4.1.	Estudios arqueológicos de superficie en la estación San Francisco	616
Imagen B14.4.2.	Excavación directa de hallazgos arqueológicos en la estación San Francisco	616
Imagen 14.5.	Oficina de información: metro de Lima	629
Imagen 14.6.	Puesto de información permanente: estación de metro Quitumbe, Quito	629
Imagen B14.8.1.	Pasajeros esperando respetuosamente un tren del metro: Medellín, Colombia	631

Imagen B15.1.1.	Uso de espacios verdes públicos *(izquierda)* y de partes de la calle *(derecha)* para el emplazamiento de estaciones	644
Imagen B15.3.1.	Murciélago capturado en el emplazamiento de construcción del patio de maniobras del Aeropuerto de Dulles	648
Imagen B15.6.1.	Residuos sólidos *(izquierda)* y líquidos *(derecha)* ilegales en el derecho de vía	652
Imagen 15.1.	Maquinaria pesada que presenta un riesgo de salud y seguridad en el trabajo para los trabajadores durante la construcción: Lima (Perú)	661
Imagen 15.2.	Perforación del pavimento para analizar los niveles de contaminación del suelo y las aguas subterráneas en estación de servicio junto a la vía segregada: Quito	662
Imagen B15.9.1.	Basura y personas que ingresaban sin autorización en las vías del sistema ferroviario suburbano de Mumbai antes del proyecto, 2009.	665
Imagen B16.2.1.	Numerosos pasajeros esperan para viajar en ambas direcciones en la Estación Central de Estocolmo, Suecia	701
Imagen 16.2.	Espacios residenciales, comerciales y laborales combinados dentro de la misma manzana o en manzanas adyacentes y conectados con infraestructura para peatones de alta calidad: Distrito de Tianhe, Guangzhou, China	706
Imagen 16.3.	Estaciones de BRT accesibles y aptas para la circulación en silla de ruedas: Lima, Perú	707
Imagen B16.4.1.	Estación de tránsito rápido del área de Warm Springs/South Fremont Bay, rodeada de estacionamientos: Fremont, California, Estados Unidos	711
Imagen B16.4.2.	Desarrollo residencial y comercial de alta densidad: estación Kowloon de Mass Transit Railway Corporation, Región Administrativa Especial de Hong Kong, China	711
Imagen B16.5.1.	Tiendas, restaurantes y un pequeño jardín botánico en la plaza interior de la antigua Estación de Atocha: Madrid, España	716
Imagen 16.4.	Incremento del valor posicional debido a los espacios públicos aptos para peatones y el desarrollo comercial en los alrededores de la Estación Hakata: Kyushu, Japón	718
Imagen B16.6.1.	Espacios públicos aptos para peatones y desarrollo en los alrededores de la estación King's Cross: Londres, Reino Unido	720
Imagen 16.5.	Urbanización compacta y de uso mixto con espacios comerciales a nivel de la calle que priorizan a los peatones: Morningside Heights, Ciudad de Nueva York, Estados Unidos	724
Imagen 16.6.	Un propietario de un edificio clásico (Brownstone) en Upper Manhattan responde a la presión de la gentrificación con un cartel en la puerta: Ciudad de Nueva York	732
Imagen 16.7.	Vista aérea de la estación Woolwich y los desarrollos de Berkeley Homes sobre la estación: Londres, Reino Unido	736
Imagen B17.1.1.	Medidas temporales de mitigación de inundaciones en una estación del metro de Nueva York durante la supertormenta Sandy en 2012	752

Imagen B17.1.2.	Cubierta extraíble para control de inundaciones en las escaleras del metro en la estación Whitehall St. en Nueva York en 2013	753
Imagen B17.2.1.	Vías de Skytrain elevadas por encima de los niveles de las inundaciones causadas por los monzones, Bangkok (Tailandia)	758
Imagen B17.3.1.	Ingenieros de ferrocarriles y personal de los servicios de bomberos y rescate controlan las presas inflables que protegen las vías en Cowley Bridge Junction	762
Imagen B17.4.1.	Trenes estacionados en el patio de taller de Shinzaike, de la línea Hanshin Dentetsu, inclinados hacia un lado tras el Gran Terremoto de Hanshin de Japón en 1995	775
Imagen B17.5.1.	Trabajadores en el túnel de Marmaray, resiliente a los terremotos: Estambul (Turquía)	778
Imagen 17.1.	Participantes de un simulacro para probar la capacidad como refugios de emergencia de las estaciones de trenes luego de un terremoto: Tokio (Japón)	785

CUADROS

Cuadro B1.1.1.	Pasos del proceso de desarrollo del proyecto y sus actividades principales	8
Cuadro 2.1.	Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la disponibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad	35
Cuadro 2.2.	Análisis de la disponibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto	36
Cuadro 2.3.	Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la accesibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad	41
Cuadro 2.4.	Proporción de los ingresos familiares totales destinados al transporte público en ciudades seleccionadas	45
Cuadro 2.5.	Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la asequibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad	47
Cuadro 2.6.	Análisis de la asequibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto	50
Cuadro 2.7.	Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la aceptabilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad	57
Cuadro 2.8.	Consideraciones para la ejecución de proyectos de transporte público urbano de alta capacidad inclusivos a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto	60
Cuadro 3.1.	Resumen de técnicas de elaboración de modelos de demanda para corredores de transporte público de alta capacidad	77
Cuadro 3.2.	Principales características físicas del metro, el metro ligero y el autobús de tránsito rápido	86
Cuadro 3.3.	Impactos y requisitos del metro, el metro ligero y el autobús de tránsito rápido	87
Cuadro B3.3.1.	Estructura de tasas de descuento de las directrices oficiales del Reino Unido	100

Cuadro 4.1.	Ejemplo de un gráfico de informe mensual de costos de nivel ejecutivo	130
Cuadro 4.2.	Ejemplo de un gráfico de seguimiento mensual de los principales hitos del proyecto correspondiente a un proyecto ferroviario urbano al final del diseño preliminar como preparación para la ejecución de un contrato de diseño y construcción	133
Cuadro 4.3.	Áreas ilustrativas destacadas de la planificación de la gestión del proyecto a lo largo del proceso de elaboración del proyecto	137
Cuadro 5.1.	Normas de diseño relevantes para determinadas características de los sistemas ferroviarios urbanos	157
Cuadro 5.2.	Opciones para las características del diseño del trazado en alzado	163
Cuadro 5.3.	Características y opciones del diseño de las vías	166
Cuadro 5.4.	Características y opciones del diseño de estaciones y terminales	168
Cuadro 5.5.	Características y opciones del diseño del material rodante	177
Cuadro 5.6.	Características y opciones del diseño del sistema de señalización y control	183
Cuadro 5.7.	Características y opciones del diseño de electrificación	186
Cuadro 5.8.	Opciones para el diseño de las telecomunicaciones	188
Cuadro 5.9.	Opciones para la característica del diseño del control de emisión de boletos y validación	189
Cuadro 6.1.	Componentes ilustrativos donde se puede optimizar el valor durante las etapas del proceso de elaboración de proyectos	207
Cuadro B6.4.1.	Lista selecta de alternativas de valor desarrolladas y posibles ahorros de costos	222
Cuadro 6.2.	Resumen de metodologías de optimización	231
Cuadro 7.1.	Características clave que pueden influir en los niveles de riesgo para los proyectos ferroviarios urbanos	238
Cuadro 7.2.	Seis pasos esenciales para desarrollar una estrategia de gestión de riesgos	240
Cuadro B7.1.1.	Ejemplo de un registro de riesgos para un proyecto ferroviario urbano en el contexto de una asociación público-privada	242
Cuadro 7.3.	Ejemplo de identificación de riesgos y matriz de evaluación para un proyecto ferroviario urbano: línea 2 del metro, Lima (Perú)	246
Cuadro 7.4.	Ejemplo de parte de una matriz de interfaces entre contratos de componentes de estructuras y contratos de señalización en la sección Gouda-Alphen de la línea Rijn Gouwe: Países Bajos	269
Cuadro 7.5.	Asignación general de riesgos para proyectos ferroviarios urbanos recientes en América Latina y Turquía	276
Cuadro 8.1.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de diseño, licitación y construcción de contratista general o principal	292
Cuadro 8.2.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de diseño, licitación y construcción de varios contratistas principales	293
Cuadro 8.3.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de gerente de obras en riesgo	294

Cuadro 8.4.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño y construcción	295
Cuadro 8.5.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño, construcción y financiamiento	296
Cuadro 8.6.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño, construcción, operación y mantenimiento	300
Cuadro 8.7.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento o de construcción, operación y transferencia	301
Cuadro 8.8.	Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de equipamiento, operación y transferencia	302
Cuadro 8A.1.	Requisitos de calificación correspondientes a proyectos recientes	328
Cuadro 8A.2.	Resultados de procesos de adquisiciones recientes	332
Cuadro 9.1.	Proyectos ferroviarios urbanos recientes en países de ingreso bajo y medio con participación del sector privado, 2006-16	341
Cuadro 9.2.	Consideraciones principales para decidir sobre el enfoque de contratación agrupada o el enfoque de contratación desagrupada desde la perspectiva del sector público	361
Cuadro 9.3.	Ejemplos de indicadores clave de desempeño habituales en sistemas ferroviarios urbanos	377
Cuadro 9A.1.	Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento	386
Cuadro 9A.2.	Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto	393
Cuadro 9A.3.	Asignación de riesgos financieros	401
Cuadro 9A.4.	Asignación de otros riesgos que ocurren durante la vigencia del contrato o inciden en este	402
Cuadro 9A.5.	Asignación de riesgos en asociaciones público-privadas recientes de transporte ferroviario urbano en América Latina	406
Cuadro 10.1.	Fuentes de fondos y financiamiento para proyectos ferroviarios urbanos	414
Cuadro 10.2.	Estimación del aumento del valor del suelo como resultado de las inversiones en transporte público de alta capacidad en ciudades seleccionadas	423
Cuadro 10.3.	Ventajas y desventajas del financiamiento de proyectos para las asociaciones público-privadas de transporte ferroviario urbano	448
Cuadro 10.4.	Ventajas y desventajas del financiamiento para empresas para las asociaciones público-privadas de transporte ferroviario urbano	449
Cuadro 10.5.	Factores que influyen en la bancabilidad	451
Cuadro 11.1.	Tipología de las TBM según las condiciones del suelo y los niveles correspondientes de sostenimiento del frente	506
Cuadro 11.2.	Comparación de los diferentes métodos de construcción para tramos subterráneos	510
Cuadro 12.1.	Tres instituciones y sus principales funciones en la gestión de un sistema ferroviario urbano	520

Cuadro 12.2.	Potenciales ventajas y desventajas de los operadores públicos de transporte ferroviario urbano	534
Cuadro 12.3.	Ejemplos de operadores de transporte ferroviario urbano constituidos como compañías públicas y tenedores de su capital accionario	535
Cuadro 12.4.	Potenciales ventajas y desventajas de un operador privado de transporte ferroviario urbano	538
Cuadro B12.10.1.	Control sobre diferentes factores en el entorno operativo de los ferrocarriles urbanos	545
Cuadro 12.5.	Implicancias de la composición del directorio en la viabilidad del operador: comparación entre Londres y Washington, DC	547
Cuadro 13.1.	Evolución de los enfoques de mantenimiento	575
Cuadro B13.3.1.	Ejemplo de suposiciones importantes relativas a la vida útil para activos seleccionados de sistemas ferroviarios urbanos	576
Cuadro B13.5.1.	Costos de operación en los sistemas de metro de la Ciudad de Nueva York, 2014	584
Cuadro B14.1.1.	Tipos ilustrativos de impactos sociales y sus efectos distributivos	598
Cuadro B14.2.1.	Plan de reasentamiento y las unidades sociales elegibles para compensación	604
Cuadro 14.1.	Indicadores para analizar la gentrificación y los cambios en la composición del vecindario	617
Cuadro 14.2.	Componentes principales de un sistema de gestión ambiental y social	624
Cuadro 15.1.	Principales impactos ambientales directos negativos de los proyectos ferroviarios urbanos	659
Cuadro 15.2.	Términos y condiciones de MASS representativos para contratos de proyectos ferroviarios urbanos	677
Cuadro 15A.1.	Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos	684
Cuadro 16.1.	Principales partes interesadas en la implementación del DOT	738
Cuadro 17.1.	Acciones clave para garantizar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales durante todo el proceso de desarrollo del proyecto	749
Cuadro 17.2.	Tipos de peligros climáticos y naturales que afectan los sistemas ferroviarios urbanos y sus peligros secundarios	750
Cuadro 17.3.	Calificaciones indicativas para las consecuencias de peligros climáticos o naturales	772
Cuadro 17.4.	Resumen de las partes interesadas que participan en los diversos pasos del proceso de desarrollo de un proyecto ferroviario urbano	787
Cuadro 17A.1.	Peligros geofísicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano	793

Cuadro 17A.2. Peligros hidrológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano 795
Cuadro 17A.3. Peligros climatológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano 798
Cuadro 17A.4. Peligros meteorológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano 799

PRÓLOGO

El transporte urbano representa una parte importante de la cartera de inversiones, servicios de conocimientos y tareas de asesoría del Grupo Banco Mundial. Desde el punto de vista económico, el transporte constituye el sustento de las regiones metropolitanas, las cuales son fuentes de crecimiento económico amplias y en expansión, tanto en países de ingreso alto como de ingreso bajo y medio. Desde el punto de vista social, el transporte urbano brinda acceso a empleos, atención médica, educación y servicios sociales que son esenciales para el bienestar de todos. El transporte urbano puede contribuir a la reducción de la pobreza, la prosperidad compartida[1] y la inclusión social debido a su impacto en la economía de una ciudad —y por ende en el crecimiento económico— y el impacto directo en las necesidades diarias de todos (Gwilliam, 2002). Por tratarse de modalidades de transporte público de pasajeros de alta capacidad y alta velocidad en zonas urbanas, los sistemas de transporte público de alta capacidad con vía segregada, como el transporte ferroviario urbano (metros y trenes metropolitanos), el metro ligero y el autobús de tránsito rápido (BRT), son sumamente importantes para las estrategias de transporte urbano. Deben abordarse como un elemento de una red integrada de transporte público armonizada con la visión y los objetivos de la ciudad en materia de viviendas, uso de la tierra y desarrollo económico.

El Grupo Banco Mundial posee amplia experiencia en lo que respecta al respaldo y la planificación de políticas de transporte urbano, y la ejecución de proyectos de financiamiento en regiones metropolitanas de todo el mundo. Esta experiencia incluye proyectos de transporte público de alta capacidad como el transporte ferroviario urbano y el BRT[2]. Por lo tanto, el Grupo Banco Mundial está

en condiciones de brindar una perspectiva única, válida para distintas modalidades, independiente y honesta sobre los elementos necesarios para determinar la solución de movilidad adecuada para una ciudad en particular (que puede incluir o no el transporte ferroviario urbano). Si una ciudad decide que el transporte ferroviario urbano es la modalidad más apropiada para satisfacer las necesidades en materia de movilidad y accesibilidad de un corredor dado, el Grupo Banco Mundial puede ayudar a esa ciudad a maximizar los diversos beneficios a largo plazo de un proyecto de tales características. Los proyectos ferroviarios urbanos pueden influir en varias generaciones de habitantes urbanos y tener un alto costo de oportunidad en términos de recursos humanos y presupuestarios. Dado que el número, la variedad y la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos está aumentando, es importante comprender cómo abordar el desarrollo de estos proyectos para lograr la mayor rentabilidad de las inversiones posible desde el punto de vista social, ambiental y económico. Los proyectos ferroviarios urbanos tienen el potencial de reducir la pobreza y contribuir a la prosperidad compartida, pero si se planifican o ejecutan de manera inadecuada, podrían ser regresivos y tener impactos negativos. En el Manual para el desarrollo de ferrocarriles urbanos se comparten enseñanzas aprendidas a partir de proyectos pasados y en curso seleccionados a nivel mundial (que pertenecen o no a la cartera del Grupo Banco Mundial) y se ofrecen recomendaciones prácticas que los responsables de la formulación de políticas pueden implementar para mejorar la ejecución en cada una de las etapas del proceso de desarrollo del proyecto y para obtener el máximo valor de las inversiones en transporte ferroviario urbano durante toda su vigencia.

Experiencia del Grupo Banco Mundial con el transporte ferroviario urbano

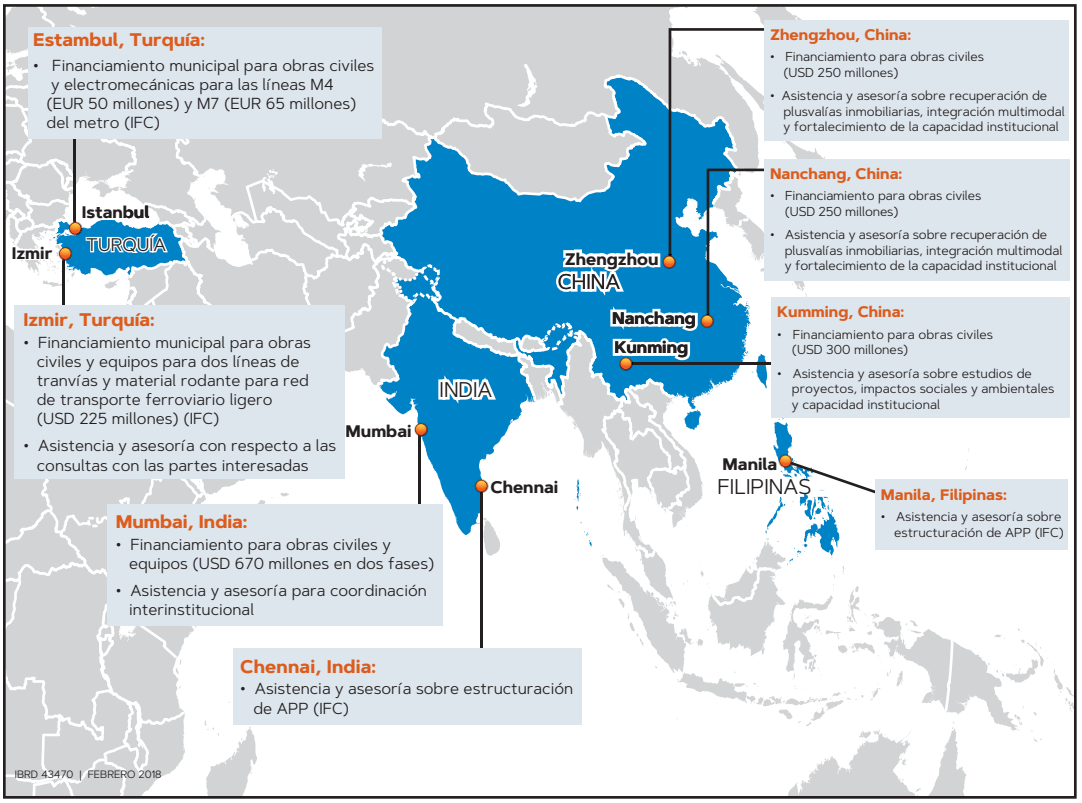
La experiencia del Grupo Banco Mundial en lo que respecta al transporte ferroviario urbano puede remontarse a las primeras etapas de los préstamos otorgados a ciudades, cuando proyectos tales como los de Túnez (1973), Seúl (1975-80), Porto Alegre (1980) y Buenos Aires (1997) se centraban en la rehabilitación o expansión de los sistemas ferroviarios urbanos existentes y en la adquisición de material rodante. En la década de 1990, con los proyectos realizados en ciudades como Bangkok (1990-95), Río de Janeiro (1993), Busan (1994), Belo Horizonte (1995) y Recife (1995), entre otras, se amplió la participación del Grupo Banco Mundial y se incluyó financiamiento, consultoría de asesoría para la reestructuración institucional, evaluación de proyectos e implementación de nuevas líneas ferroviarias urbanas (Mitrić, 1997).

En la última década, cada una de las instituciones que conforman el Grupo Banco Mundial siguió aumentando y diversificando las intervenciones en proyectos ferroviarios urbanos (véanse los mapas P.1 y P.2). Por ejemplo, el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) y la Asociación Internacional de Fomento (AIF) han brindado servicios tanto financieros como de asesoría para proyectos en ciudades de China (Kunming, Nanchang y Zhengzhou), India (Mumbai) y América Latina (Bogotá, Colombia; Lima, Perú; Quito, Ecuador; Río de Janeiro, Salvador y São Paulo, Brasil; y Santiago, Chile). Como parte de estos proyectos, el BIRF ha ofrecido servicios de asesoría durante toda la preparación de los proyectos y financiamiento para estudios preliminares, obras civiles, equipos o material rodante. Asimismo, la Corporación Financiera Internacional (IFC) ha ayudado a estructurar y financiar proyectos ferroviarios urbanos en India (Chennai), Filipinas (Manila) y Turquía (Izmir y Estambul), y

MAPA P.1. Experiencia del Grupo Banco Mundial con proyectos ferroviarios urbanos en América Latina y el Caribe, 2007-17

Nota: MIGA = Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones.

MAPA P.2. Experiencia del Grupo Banco Mundial con proyectos ferroviarios urbanos en Europa oriental y Asia, 2007-17



Nota: APP = asociación público-privada; IFC = Corporación Financiera Internacional.

movilizar financiamiento del sector privado para ellos. El Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones (MIGA) también ha brindado garantías de cobertura de riesgo de incumplimiento de obligaciones financieras soberanas (IOFS) para la línea 1 del metro de la Ciudad de Panamá y para proyectos ferroviarios urbanos en Izmir y Estambul. Este manual ofrece una síntesis de los conocimientos generados a partir de estos proyectos con la finalidad de brindar información a los encargados de tomar decisiones que analizan el desarrollo de ferrocarriles urbanos.

La función del Grupo Banco Mundial en el apoyo al transporte ferroviario urbano

El Grupo Banco Mundial es una de las mayores fuentes de financiamiento y conocimientos del mundo para los países de ingreso bajo y medio. La participación

del Banco en proyectos ferroviarios urbanos se justifica por tres tipos de motivos: 1) técnicos, 2) financieros y 3) institucionales. Estos aspectos se complementan entre sí, y la mayoría de los proyectos reciben servicios de asesoría en las tres dimensiones. Esta perspectiva integral y la experiencia del Grupo Banco Mundial se encuentran entre los mayores activos que la institución ofrece a los Gobiernos asociados.

Aspectos técnicos

El Grupo Banco Mundial puede brindar asistencia técnica para proyectos ferroviarios urbanos y otros proyectos de transporte público de alta capacidad durante todo el proceso de elaboración, desde el análisis de alternativas y la evaluación del proyecto hasta la operación a largo plazo. La planificación y el diseño de proyectos ferroviarios urbanos pueden tener un carácter intensamente político y presentar dificultades técnicas debido a externalidades muy extendidas. El financiamiento, las adquisiciones, la construcción y la operación de dichos proyectos pueden resultar aún más difíciles debido a las deficiencias relativas de las instituciones y la falta de solvencia crediticia de la mayoría de los Gobiernos de ciudades en países de ingreso bajo y medio.

El Grupo Banco Mundial puede ofrecer asistencia técnica para iniciativas destinadas a mejorar los sistemas ferroviarios urbanos existentes o a desarrollar nuevos sistemas; por ejemplo, puede ayudar a determinar lo siguiente: cómo integrar la planificación del uso del suelo y el transporte; cómo planificar, diseñar y adquirir la solución de transporte apropiada; cómo evaluar y mitigar los diversos impactos sociales y ambientales, de salud y seguridad de los proyectos ferroviarios urbanos; cómo mejorar la igualdad de acceso; cómo mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y la resiliencia, y cómo realizar consultas entre los grupos de interés. Esta asistencia técnica puede permitir mejorar la calidad, la eficacia y la eficiencia en función de los costos, y la sostenibilidad de estos megaproyectos. También puede ayudar a optimizar los recursos y a lograr los beneficios económicos previstos para la sociedad. En este manual se ofrece una síntesis de los conocimientos generados a partir de estos proyectos con la finalidad de brindar información sobre nuevas inversiones en ferrocarriles urbanos.

Aspectos financieros

La participación financiera del Grupo Banco Mundial puede incluir la prestación de financiamiento y garantías, la movilización de financiamiento de terceros a través de préstamos sindicados y mecanismos de cofinanciamiento. También puede incluir servicios de asesoría de IFC para la estructuración de los proyectos (incluidos mecanismos de asociaciones público-privadas) y los procesos de ejecución a fin de garantizar la posibilidad de obtener financiamiento, el equilibrio entre riesgos y recompensas, y la sostenibilidad de estas enormes inversiones. El Grupo Banco Mundial —y, especialmente IFC— puede ofrecer asistencia en

asesoramiento para evaluar si es conveniente o no incluir la participación del sector privado en un proyecto ferroviario urbano y para determinar cómo incentivar el interés del sector privado y estructurar contratos con socios privados. Mediante esta asesoría, el Grupo Banco Mundial puede ayudar a generar la capacidad administrativa necesaria para que el personal interno comience a estructurar y gestionar proyectos de participación privada por su cuenta.

Los países en desarrollo cada vez utilizan más asociaciones público-privadas para proyectos ferroviarios urbanos nuevos, pero estas experiencias han tenido resultados muy variados. Estas asociaciones temporales adoptan diversas formas, por lo general combinan la participación de bancos comerciales, fabricantes de equipos, operadores y contribuciones y garantías de los Gobiernos locales. En los últimos cinco años, se han establecido asociaciones público-privadas por valor de USD 30 000 millones para construir un total de 283 kilómetros de transporte ferroviario en cinco ciudades: Beijing, Hangzhou, Hyderabad, Lima y São Paulo. La longitud total de las vías ferroviarias prácticamente se triplicó con respecto a la de dichos proyectos en los cinco años anteriores y la longitud promedio por proyecto —40 kilómetros— casi se duplicó, a pesar de que suele implicar construcciones subterráneas de gran envergadura.

Aspectos institucionales

El Grupo Banco Mundial puede brindar asesoría institucional para ayudar a los Gobiernos asociados a utilizar estos proyectos complejos y con múltiples grupos de interés como agente catalizador para el desarrollo y la adopción de estrategias de transporte sostenibles y políticas de uso del suelo urbano. El Grupo Banco Mundial puede ayudar a los Gobiernos asociados a analizar las estructuras de gestión, los marcos regulatorios, legislación propicia específica y otras reformas institucionales necesarias para desarrollar y ejecutar proyectos ferroviarios urbanos que beneficien a la región metropolitana y todos sus habitantes. También puede ayudar a fortalecer la capacidad interna dentro de instituciones nuevas o recientemente estructuradas y asistir a las instituciones nuevas para que incorporen la experiencia externa adecuada para desarrollar proyectos ferroviarios urbanos.

Los mejores proyectos ferroviarios urbanos constituyen una parte esencial de una estrategia integrada de transporte urbano más amplia que está diseñada para satisfacer las diversas necesidades en materia de accesibilidad de diferentes usuarios mediante un programa de intervenciones integradas y multimodales. Los proyectos ferroviarios urbanos pueden aportar los mayores beneficios a la ciudad receptora solo si se implementan como parte de una estrategia de movilidad urbana integrada de tales características. Por tratarse de megaproyectos con una gran variedad de impactos, los emprendimientos de ferrocarriles urbanos exigen

un enfoque estratégico que incluya tanto políticas como inversiones en infraestructura y equipos. Por lo tanto, si se los considera como proyectos de desarrollo, los sistemas ferroviarios urbanos ofrecen la oportunidad de favorecer la reforma institucional y los cambios en las políticas para respaldar metas de desarrollo urbano más amplias. El Grupo Banco Mundial puede ayudar a los Gobiernos asociados a facilitar programas de políticas más amplios en materia de crecimiento económico sostenible y mejorar la accesibilidad mediante la elaboración de un proyecto ferroviario urbano integral.

José Luis Irigoyen
Director superior, Prácticas Mundiales de Transporte y Desarrollo Digital, Banco Mundial

Franz R. Drees-Gross
Director, Prácticas Mundiales de Transporte y Desarrollo Digital, Banco Mundial

Notas

1. En 2013, el Grupo Banco Mundial adoptó dos nuevas metas que orientan su labor: poner fin a la pobreza extrema e impulsar la prosperidad compartida. Más específicamente, estas metas consisten en reducir la pobreza extrema en el mundo a menos del 3 % para 2030 y promover el aumento de los ingresos del 40 % más pobre de la población de cada país (Grupo Banco Mundial, 2015).
2. El Grupo Banco Mundial ha respaldado proyectos de TRA en ciudades de China, Colombia (incluida Bogotá), India, México, Perú (Lima), Tanzanía (Dar es Salaam) y Vietnam, entre otras.

Bibliografía

Gwilliam, Kenneth M. (2002), Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review, Washington, DC: Banco Mundial, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/928301468762905413/cities-on-the-move-a-world-bank-urban-transport-strategy-review

Mitrić, Slobodan (1997), "Approaching Metros as Potential Development Projects", documento de trabajo TWU-28, Banco Mundial, Washington, DC, http://www.rhd.gov.bd/documents/externalpublications/worldbank/transsectpub/contents/documents/b50.pdf

Grupo Banco Mundial (2015), A Measured Approach to Ending Poverty and Boosting Shared Prosperity: Concepts, Data, and the Twin Goals, informe sobre investigaciones relativas a políticas de desarrollo, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20384.

AGRADECIMIENTOS

El Manual para el desarrollo de ferrocarriles urbanos fue preparado por un equipo del Banco Mundial liderado por Daniel Pulido, Georges Darido, Ramón Muñoz-Raskin y Joanna Moody. El equipo estuvo conformado por los siguientes miembros: Carlos Pérez-Brito, Edward Fleischman, Sofía Guerrero Gámez, Wenyu Jia, Xavier Cledan Mandri-Perrott, Slobodan Mitrić, Robert Montgomery, Ramiro Alberto Ríos, Leonardo Cañón Rubiano, Felipe Targa, Jean Paul Vélez y Jorge Villegas. Asimismo, el equipo agradece a Efraín Bastidas, Elena Suau de Castro, Karla Domínguez, Barbara Donaldson, Steven Farji, Óscar Rodriguez Fuertes, Fabio Hirschhorn, Javier Escudero Marroquin, Andrés Rebollo, Miguel Soriano, Bill Thornton, Daniel Turk y Yi (Nina) Yang por la asistencia brindada en materia de investigación y redacción. El capítulo 17 fue preparado por un equipo de Arup.

Se agradece la colaboración de todos aquellos que compartieron sus conocimientos especializados y experiencia durante toda la preparación de este manual. El equipo desea agradecer especialmente a las siguientes personas por revisar y comentar capítulos en particular.

- Revisores internos del Grupo Banco Mundial: Martha Lawrence, Gerald Ollivier, Arturo Ardila-Gómez, Navaid Qureshi, Kavita Sethi, Bianca Bianchi Alves, Marcio Cerqueira Batitucci, Javier Morales Sarriera, Stephen Muzira, Irene Portabales y Jorge Rebelo.
- Revisores externos: Juan Antonio Márquez Picón (Metro de Madrid); Dionisio González, Yves Amsler y Laurent Dauby (Unión Internacional de Transporte

Público); Darío Hidalgo (Instituto de Recursos Mundiales); Gerhard Menckhoff (Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo); Juan Pablo Alonso (BusTren); Steven Kirk (SAVE International), y Ernesto Monter Flores y Rodolfo Tello (Banco Interamericano de Desarrollo).

El equipo desea agradecer a José Luis Irigoyen, Franz R. Drees-Gross, Shomik Mehndiratta y Aurelio Menéndez del equipo directivo de Departamento de Prácticas Mundiales de Transporte y Desarrollo Digital del Banco Mundial por la orientación y el apoyo que brindaron en general.

El equipo desea reconocer los aportes particulares de Slobodan Mitrić, un estimado colega fallecido recientemente, un apasionado planificador de transporte urbano y una de las primeras personas en promover el respaldo del Banco Mundial a los proyectos de transporte metropolitano. Su visión de la movilidad urbana multimodal y sostenible y sus cualidades personales son una constante fuente de inspiración para todos nosotros.

Los editores desean agradecer especialmente a Jorge Rebelo por conducir y asesorar a la mayoría de los grupos del Banco Mundial dedicados a intervenciones ferroviarias urbanas durante su carrera de más de 30 años, y por compartir sus conocimientos acumulados en estos proyectos.

Este manual fue elaborado con el apoyo del Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada y el Fondo Español para América Latina y el Caribe. El Fondo Mundial para la Reducción de los Desastres y la Recuperación aportó financiamiento adicional para la elaboración del capítulo 17.

AGRADECIMIENTOS DE LA VERSIÓN EN ESPAÑOL DEL MANUAL

La versión en español del *Manual para el desarrollo de ferrocarriles urbanos* fue preparada por la Unidad de Traducción e Interpretación del Departamento de Soluciones Institucionales Globales (GCSTI) del Banco Mundial dirigida por Solange Villamil, Martin Paonni y Julio Bravo. Agradecemos a todos los miembros del equipo de traducción sus aportaciones para comunicar de manera clara y correcta los conocimientos y las recomendaciones del manual.

El control de calidad y la revisión técnica de la traducción estuvo a cargo de Metro de Tenerife integrado con un equipo integrado por Teresa Benet, Andrés Muñoz de Dios, Raúl Parra, Pablo Oromí, José Chinea, Ignacio Teresa, Lucas de la Torre, Rebeca Estévez, Santiago Correa, Carmen Hernández y Gonzalo Umpiérrez. Agradecemos a Metro de Tenerife compartir sus conocimientos especializados y su experiencia con proyectos de ferrocarriles urbanos.

La traducción al español se realizó con el apoyo del Fondo Español para América Latina y el Caribe (SFLAC), y fue supervisada por los editores de la versión en inglés del manual: Joanna Moody, Daniel Pulido, Georges Darido y Ramón Muñoz-Raskin. También agradecemos a Lorena Sierra Valdivieso del Banco Mundial por su corrección.

Esperamos que esta traducción ayude a transmitir a un público más amplio la experiencia mundial y el conocimiento práctico sobre desarrollo de ferrocarriles urbanos y facilite a las autoridades hispanoparlantes identificar las cuestiones clave y herramientas disponibles en cada etapa del proceso de desarrollo de sistemas y proyectos de ferrocarril urbano.

ACERCA DE LOS EDITORES Y AUTORES

Acerca de los editores

Daniel Pulido es especialista senior en infraestructura del Banco Mundial. Durante su carrera de 18 años, Daniel ha dirigido la preparación y ejecución de transacciones de financiamiento y asesoría para promover la participación privada en proyectos de transporte urbano, carreteras y puertos, principalmente en Europa oriental y América Latina. Ha publicado investigaciones sobre asociaciones público-privadas en transporte y sobre movilidad urbana sostenible. Desde 2018, Daniel se desempeña como oficial senior de inversiones en la Corporación Financiera Internacional, parte del Grupo Banco Mundial, concentrándose en el desarrollo de proyectos de inversión privada en transporte y logística. Antes de incorporarse al Grupo Banco Mundial, trabajó en varios bancos comerciales, donde se especializó en financiamiento de proyectos, principalmente en los sectores de energía renovable y transporte. Su experiencia incluye la estructuración de transacciones, análisis financiero y evaluación crediticia para proyectos basados en asociaciones público-privadas y financiamientos subnacionales. También trabajó en la evaluación y desarrollo de políticas de competitividad y movilidad sostenible en cargos que ocupó anteriormente en el Banco Interamericano de Desarrollo. Se graduó en la Universidad de Pensilvania, donde obtuvo una maestría en Administración de Negocios de la Escuela Wharton y una maestría en Estudios Internacionales de la Escuela de Artes y Ciencias. Daniel también posee una maestría en Economía de la American University de la ciudad de Washington.

Georges Darido es especialista principal en transporte urbano en la sede del Banco Mundial en la ciudad de Washington. Tiene más de 16 años de experiencia como profesional y líder de equipo de planes de movilidad urbana, proyectos de transporte público e inversiones en transporte en varios países de Asia, Europa, América Latina y América del Norte. También encabezó actividades vinculadas con la asesoría y la asistencia técnica para el sector público en planificación y políticas de transporte, reformas del sector y asociaciones público-privadas. Antes de incorporarse al Banco Mundial en 2007, se desempeñó como consultor de gestión de transporte en Booz Allen Hamilton, un asociado principal en investigaciones del Centro de Investigación de Transporte Urbano de la Universidad del Sur de Florida, y como ingeniero de tráfico. Posee una maestría en Sistemas de Transporte del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y una maestría en Economía y Administración de la Scuola Enrico Mattei (Italia), y una licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad del Centro de Florida (UCF). Es ingeniero profesional certificado en los Estados Unidos.

Ramón Muñoz-Raskin es especialista superior en transporte del Banco Mundial. Durante su carrera en el Banco Mundial, ha trabajado con Gobiernos locales y nacionales apoyando reformas sectoriales transporte y programas de inversión, con un énfasis en América Latina y África. Lidera actividades en el sector del transporte urbano, lo que incluye el apoyo a programas nacionales de transporte urbano, transporte masivo, planificación de la movilidad urbana y programas de medios de transporte no motorizados. Asimismo, ha liderado actividades en los sectores vial, de ferrocarriles de carga y de aviación. Antes de incorporarse al Banco Mundial, trabajó en América y en Europa, donde ocupó cargos en el Banco Interamericano de Desarrollo, el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (USDOT), el sector académico, el sector privado (construcción y consultoría), y el Instituto de Recursos Mundiales. En el USDOT, se desempeñó como jefe de equipo del programa New Starts de la Administración Federal de Transporte, que brinda financiamiento y asistencia técnica para proyectos de transporte público masivo urbano, y posteriormente, como gerente regional del Programa de Alta Velocidad Ferroviaria de la Administración Federal de Ferrocarriles. Se graduó como Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos con especialización (maestría) en transporte en la Universidad Politécnica de Madrid, y obtuvo una Maestría en Planificación Urbana en la Universidad de Columbia de Nueva York. Es autor de múltiples publicaciones revisadas por pares en revistas especializadas y blogs sobre planificación y políticas de transporte, y economía. Es miembro del Comité de Transporte en los Países en Desarrollo de la Transportation Research Board (TRB) y fundador de la Beca Lee Schipper para el Transporte Sostenible y la Eficiencia Energética.

Joanna Moody es consultora del Banco Mundial y doctora en Transporte por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), donde trabaja en MIT Energy Initiative gestionando proyectos de investigación como parte del Mobility Systems Center y, previamente, del consorcio Mobility of the Future. Su investigación doctoral se centró en medir el sesgo del estatus social (orgullo por el automóvil y vergüenza por el autobús) y su relación con los hábitos de viaje y la planificación del transporte. Por esta investigación le otorgaron la beca Lee Schipper Memorial Scholarship en 2017. Mientras completaba su maestría en Transporte, se desempeñó como asistente superior de investigación en un programa de investigación de tres años de la empresa East Japan Railway que se centraba en comprender los proyectos ferroviarios de alta velocidad como sistemas sociotécnicos. En 2016 le otorgaron el premio Charley V. Wootan Memorial del Consejo de los Centros de Transporte Universitario por su destacada tesis de maestría en planificación y políticas. También recibió una beca del Centro de Transporte Universitario en 2014 y becas Eisenhower para graduados en 2015 y 2016 otorgadas por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos. Es miembro del Comité de Transporte en los Países en Desarrollo de la Transportation Research Board (TRB).

Acerca de los autores

Edward R. Fleischman es un consultor de ingeniería que realiza tareas de supervisión de las inversiones en transporte masivo más importantes. Anteriormente trabajó durante 38 años en el Departamento de Transporte de los EE. UU. para la Administración Federal de Transporte y la Administración Federal de Carreteras.

Sofía Guerrero Gámez es especialista superior en transporte del Banco Mundial y trabaja en la oficina de Lima, Perú. Posee una amplia experiencia en la construcción subterránea de megaproyectos de transporte, como la línea 8 del metro de Madrid, la autopista de circunvalación M-30 de Madrid y el proyecto de conexión ferroviaria Crossrail de Londres. Posee una maestría en Ingeniería Civil y un posgrado en Administración de Empresas del Instituto de Empresa.

Wenyu Jia es especialista superior en transporte del Banco Mundial y se desempeña como presidenta del Comité de Sistemas de Tránsito Ferroviario de la Junta de Investigación sobre el Transporte. Antes de trabajar para el Banco Mundial, se desempeñó como gerente de planificación en la Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington. Obtuvo una maestría doble de

Ingeniería en Transporte y Planificación Urbana de la Universidad de California (Berkeley).

(Xavier) Cledan Mandri-Perrott es jefe de Financiamiento para Infraestructura y Alianzas Público-privadas del Banco Mundial en Singapur. Posee experiencia en la preparación y la implementación de operaciones de financiamiento de proyectos de infraestructura por un valor acumulado de más de USD 3000 millones. Antes de incorporarse al Grupo Banco Mundial, se desempeñó como asesor de operaciones para proyectos de infraestructura, trabajando tanto con Gobiernos como con clientes privados. Se graduó en Ingeniería Civil con honores y posee una maestría en Finanzas y una maestría en Derecho Comercial y de Transacciones de la Universidad de Dundee, y un doctorado en Financiamiento de Proyectos de la Universidad de Groningen.

Slobodan Mitrić fue un especialista en transporte urbano que trabajaba como consultor del Banco Mundial, donde prestó 25 años de servicio activo antes de retirarse en 2003. Había obtenido un diploma de la Universidad de Belgrado (Serbia), y maestrías y doctorados de la Universidad de California (Berkeley), todos en Ingeniería de Transporte.

Robert H. Montgomery es especialista principal en medio ambiente del Banco Mundial. Se dedica a la gestión sostenible de riesgos (ambientales, sociales, de salud y de seguridad y de aspectos laborales) y en el desarrollo de oportunidades para entidades del sector público y privado e instituciones financieras en diversos sectores de 35 países de África, Europa, Oriente Medio y América del Norte y del Sur.

Carlos T. Pérez-Brito es especialista superior en desarrollo social del Banco Mundial con énfasis en inclusión social e infraestructura sostenible. Antes de trabajar en el Banco Mundial, se desempeñó como especialista social en el Banco Interamericano de Desarrollo en la ciudad de Washington, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional en Guatemala y la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe en la Ciudad de México. Posee una maestría en Estudios Latinoamericanos, Desarrollo Internacional y Transferencia de Tecnología de la Universidad Tulane.

Ramiro Alberto Ríos es planificador principal de transporte de la ciudad de Alexandria, Virginia. Posee una maestría en Planificación Urbana de la Universidad de California (Los Ángeles). Ha trabajado en el desarrollo de proyectos de transporte urbano en América Latina, los Estados Unidos y otros países del mundo.

Felipe Targa es especialista superior en transporte urbano del Banco Mundial. Recientemente se desempeñó como viceministro de Transporte de Colombia y director de la Ciudad Laboratorio (CityLab) en la sede de la universidad. Es promotor del transporte urbano en bicicleta, el diseño participativo de espacios públicos y las ciudades a escala humana. Posee una maestría en Planificación Urbana y Regional y es doctorando en Sistemas de Transporte.

Jean Paul Vélez es planificador superior de transporte de la Autoridad de Transporte Público del Condado de King (estado de Washington), donde dirige las innovadoras iniciativas de la entidad en materia de movilidad. Anteriormente trabajó en el Banco Mundial en las áreas de transporte público, desarrollo urbano e iniciativas de ciudades inteligentes. Posee una maestría en Planificación Urbana y Desarrollo Internacional de la Universidad de California (Berkeley).

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ACB	análisis costo-beneficio
AEPSS	análisis de los efectos en la pobreza y la situación social
AMC	análisis multicriterio
AOR	análisis de las opciones reales
APP	asociación público-privada
APRS	análisis probabilístico de riesgo sísmico
ATO	funcionamiento automático de trenes
ATP	protección automática de trenes
BART	Sistema de Tránsito Rápido del Área de la Bahía
B/C	coeficiente costo-beneficio
BERD	Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo
BIM	modelado de información de construcción
BIRF	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
BMD	banco multilateral de desarrollo
BNDES	Banco de Desarrollo de Brasil
BOT	Construcción, operación y transferencia
BRT	autobús de tránsito rápido
CA	corriente alterna
CAD	diseño asistido por computadora
CASBEE	sistema de evaluación integral para la eficiencia del entorno de construcción
CBTC	control de trenes basado en comunicaciones

CC	control de calidad
CC	corriente continua
CEPAC	certificado de potencial adicional de construcción
COFIDES	Compañía Española de Financiación del Desarrollo
CRRC	China Railway Rolling Stock Corporation
CSGP	consultor de supervisión de la gestión de proyectos
CTA	Autoridad de Tránsito de Chicago
CUS	coeficiente de utilización del suelo
CVS	captura del valor del suelo
DART	Dallas Area Rapid Transit
DAT	desarrollo adyacente al transporte
DB	diseño y construcción
DBB	diseño, licitación y construcción
DBF	diseño, construcción y financiamiento
DBFM	diseño, construcción, financiamiento y mantenimiento
DBFOM	diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento
DBOM	diseño, construcción, operación y mantenimiento
DDCa	diagnóstico y desarrollo de la capacidad en relación con el clima
DOT	desarrollo orientado al transporte
EAPD	Estrategia de Adquisiciones para Proyectos Orientada al Desarrollo
ECA	organismo de crédito a la exportación
EIA	evaluación del impacto ambiental
EIAS	evaluación del impacto ambiental y social
EIS	evaluación del impacto social
EOT	equipamiento, operación y transferencia
EPB	tuneladora de presión de tierras
EPC	ingeniería, adquisiciones y construcción
EPCM	ingeniería, adquisiciones, construcción y mantenimiento
FIDIC	Federación Internacional de Ingenieros Consultores
FTA	Administración Federal de Transporte
GC	garantía de calidad
GdA	grado de automatización
GEI	gas de efecto invernadero
GOR	gerente de obras en riesgo
GPS	sistema de posicionamiento global
GTFS	Especificación General de Feeds de Transporte Público
IFC	Corporación Financiera Internacional
IFD	institución financiera de desarrollo

IGR	informe geotécnico de referencia
INVEST	Herramienta Voluntaria de Evaluación de la Sostenibilidad en la Infraestructura
IOFS	incumplimiento de obligaciones financieras soberanas
IPC	índice de precios al consumidor
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
ITDP	Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo
IV	ingeniería de valor
KPESIC	plataforma de conocimientos sobre construcción de infraestructura sostenible desde el punto de vista ambiental
KPI	indicador clave de desempeño
LEED	Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental
LRT	metro ligero
M/LRT	transporte ferroviario masivo/metro ligero
MASS	medio ambiente, salud y seguridad
MAX	Expreso del Área Metropolitana
MBTA	Autoridad de Transporte de la Bahía de Massachusetts
MIGA	Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones
MTA	Autoridad Metropolitana del Transporte
MTRC	Mass Transit Railway Corporation
MWAA	Autoridad Metropolitana de Aeropuertos de Washington
NATM	Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles
O&M	operación y mantenimiento
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OSC	operación sin conductor
PA	puertas de andén
PATH	Autoridad Portuaria Trans-Hudson de Nueva York y Nueva Jersey
PBP	protección en el borde del andén
PGAS	plan de gestión ambiental y social
PIB	producto interno bruto
PMG	precio máximo garantizado
PP	puente peatonal
RFF	Réseau Ferré de France
RPI-CAO	retribución por inversiones-certificado de avances de obras
RSSB	Junta de Normas y Seguridad Ferroviaria
SdC	solicitud de calificaciones
SdP	solicitud de propuestas
SGAS	sistema de gestión ambiental y social
SGMASS	sistema de gestión de medio ambiente, salud y seguridad
SIG	sistema de información geográfica

SNCF	Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses
SPT	Strathclyde Partnership for Transport
STB	sistema de transporte masivo de Bangkok
STJI	sistema de transporte jerárquicamente integrado
TBM	tuneladora
TCMS	sistema de control y seguimiento de trenes
TIC	tecnología de la información y las comunicaciones
TIFIA	Ley de Innovación y Financiamiento para Infraestructura de Transporte
TIR	tasa interna de retorno
TIRF	tasa interna de retorno financiera
TOEI	Oficina de Transporte del Gobierno Metropolitano de Tokyo
TRaCCA	Proyecto Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation
TUCA	Academia de Construcción de Túneles y Subterráneos
UEP	unidad de ejecución del proyecto
UITP	Unión Internacional de Transporte Público
UME	unidad múltiple eléctrica
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USE	unidad social económica
USH	unidad social de hogares
V/C	relación entre volumen y capacidad
VAN	valor actual neto
VGF	fondos destinados a cerrar brechas de viabilidad
VpD	valor por dinero
WMATA	Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington

1 INTRODUCCIÓN

Joanna Moody, Georges Darido, Ramón Muñoz-Raskin y Daniel Pulido

Ante el continuo avance de la urbanización y motorización de las regiones metropolitanas, tanto en países de ingreso alto como de ingreso bajo y medio, los Gobiernos están estudiando formas de ampliar las redes de transporte público con la finalidad de satisfacer las necesidades de movilidad y accesibilidad de su creciente población (Banco Mundial, 2002). Muchas de estas ciudades cuentan con corredores de intensa actividad que demandan una combinación de volumen de pasajeros y calidad de servicio que podría satisfacerse de manera más sostenible mediante sistemas ferroviarios urbanos con infraestructura exclusiva. Por ende, muchas ciudades del mundo empiezan a considerar que el metro (subterráneo) y los sistemas de tren metropolitano, a los que conjuntamente denominamos sistemas ferroviarios urbanos, son partes importantes de su sistema integrado de transporte público.

Los sistemas ferroviarios urbanos combinan una vía de transporte exclusiva y una tecnología vehicular basada en el ferrocarril para ofrecer servicios programados a lo largo de una serie de estaciones en secuencia. En comparación con otras modalidades de transporte público urbano (aquellas en las que los vehículos que circulan por

Fotografía: Estación de Metro Luz abarrotada, Lima, Perú. *Fuente:* Georges Darido, Banco Mundial.

carreteras o rieles operan en tráfico mixto o gozan de diversos niveles de separación respecto de otros flujos de tráfico), los sistemas ferroviarios urbanos pueden ofrecer niveles considerablemente mayores y constantes de capacidad de traslado de pasajeros, velocidad de desplazamiento, puntualidad, fiabilidad, comodidad y otros factores inherentes a la calidad del servicio. Al ampliar la zona geográfica que los pasajeros pueden cubrir en un período determinado, estos proyectos pueden ofrecer altos niveles de accesibilidad en los corredores y las zonas en las que se presta el servicio, lo cual, a su vez, contribuye a diversas actividades económicas (Mitrić, 1997, 2008). Por lo tanto, una implementación cuidadosa del transporte ferroviario urbano puede permitir ampliar la capacidad a largo plazo de las redes de transporte urbano y, al mismo tiempo, mejorar la movilidad y accesibilidad para los ciudadanos y generar desarrollo económico. Debido a su potencial de impulsar el desarrollo económico y espacial de las ciudades a largo plazo, los proyectos ferroviarios urbanos figuran en los programas de inversión de la mayoría de las grandes ciudades de países de ingreso bajo y medio.

Si bien los proyectos ferroviarios urbanos pueden aportar grandes beneficios, si se planifican o ejecutan de manera inadecuada, también pueden tener impactos negativos muy diversos. Estos megaproyectos plantean importantes desafíos en cuanto a las dimensiones técnicas, institucionales, financieras, ambientales y sociales, y presentan interdependencias entre dichas dimensiones. Se trata de proyectos que hacen un uso intensivo del capital y suelen presentar un alto nivel de riesgo. Por lo general, atraen un volumen significativo de financiamiento y parte del capital humano más calificado. Por ende, los proyectos ferroviarios urbanos pueden tener importantes costos de oportunidad para una ciudad o un país. Si se planifican, diseñan o ejecutan de manera inadecuada, pueden implicar mayores costos, tardar más tiempo en presentar resultados y atraer una menor cantidad de pasajeros que la que se previó originalmente. Dichos costos de operación o de capital mayores de lo previsto pueden incidir considerablemente en los presupuestos de los Gobiernos municipales y restringir el gasto en otros servicios necesarios. Por lo tanto, los proyectos ferroviarios urbanos se deben analizar y gestionar cuidadosamente durante todo el proceso de desarrollo del proyecto, a fin de maximizar los beneficios y mitigar todo posible impacto negativo. Cada proyecto ferroviario urbano debe adaptarse al contexto local en el que se desarrolla; no obstante, muchas ciudades en desarrollo tienen experiencia escasa o nula en lo que respecta a la planificación y la ejecución de estos proyectos complejos.

El transporte ferroviario es solo una de las diversas modalidades de transporte público de alta capacidad, algunas de las cuales, como el autobús de tránsito rápido (BRT), pueden ofrecer niveles de servicio similares a los del transporte

ferroviario en determinados contextos. El *Manual para el desarrollo de ferrocarriles urbanos* no promueve el uso de una tecnología de transporte público de alta capacidad en detrimento de las demás. Una decisión de tal magnitud solo debería tomarse luego de analizar adecuadamente las alternativas teniendo en cuenta las necesidades y el contexto de la región metropolitana específica. Si bien muchas de las conclusiones se aplican a todas las modalidades de transporte público de alta capacidad, este manual se centra en las medidas normativas y consideraciones clave que deberían analizar los responsables de la toma de decisiones a la hora de formular proyectos ferroviarios urbanos. Para los responsables de la toma de decisiones de las ciudades que analizan proyectos ferroviarios urbanos, este manual brinda orientaciones de alto nivel sobre la elaboración de dichos proyectos, cubriendo desde la planificación hasta las operaciones a largo plazo. Incluso para los responsables de la toma de decisiones que ya poseen un amplio nivel de conocimientos y experiencia con proyectos ferroviarios urbanos, este manual puede ofrecer nuevos puntos de vista y una síntesis de buenas prácticas que les permita relacionar su experiencia a nivel local con la de otros proyectos del ámbito mundial.

Objetivos

Las ciudades de todo el mundo están intentando mejorar el servicio de transporte como respuesta a las necesidades de accesibilidad de las poblaciones urbanas y metropolitanas cada vez más numerosas. Los planificadores deben buscar soluciones de transporte asequibles, inocuas para el medio ambiente y socialmente responsables que permitan satisfacer las necesidades de accesibilidad de los residentes urbanos y respalden el desarrollo económico futuro en zonas urbanas. Si se planifican de manera adecuada y se implementan debidamente como parte de una red de transporte público mayor, los sistemas ferroviarios urbanos pueden ofrecer movilidad urbana rápida y un acceso vital a los centros de las ciudades desde los distritos periféricos. Las mejoras en los sistemas de transporte permiten mejorar la calidad de vida, ya que los ciudadanos pueden acceder a oportunidades de empleo, servicios esenciales, comodidades urbanas y comunidades vecinas. Los servicios de transporte ferroviario urbano de alto desempeño pueden ayudar a reducir tanto la congestión del tráfico como las emisiones de los vehículos. Si están respaldados por políticas de desarrollo y políticas que propician el uso del suelo, también pueden contribuir a promover las inversiones a nivel local y el desarrollo de comunidades más transitables y habitables. Por lo tanto, los proyectos ferroviarios urbanos deberían considerarse no solo proyectos de infraestructura, sino también oportunidades clave para el desarrollo urbano más amplio.

En este manual se sintetizan y comparten conocimientos que sirven como base para la planificación, la ejecución y la operación de proyectos ferroviarios urbanos, con miras a lo siguiente:

- Enfatizar la necesidad de realizar estudios iniciales y planificar los proyectos.
- Hacer proyectos más sostenibles (desde el punto de vista económico, social y ambiental).
- Mejorar la rentabilidad socioeconómica y el acceso a oportunidades para los usuarios.
- Maximizar el valor de la participación del sector privado, cuando corresponda.
- Fortalecer la capacidad dentro de las instituciones que ejecutan y administran proyectos públicos.

Existen documentos de orientación similares para el transporte público de alta capacidad de pasajeros en general (Vuchic, 2005, 2007; Vuchic y Casello, 2007) y para el BRT (ITDP, 2017) y el metro ligero (Mandri-Perrott y Menzies, 2010), en particular. Sin embargo, hasta donde tienen conocimiento los autores, no existe una orientación específica para los sistemas ferroviarios urbanos. Con este manual se busca cubrir este vacío de información de manera práctica mediante asesoramiento empírico para abordar los desafíos técnicos, institucionales y financieros que afrontan los funcionarios de los Gobiernos y los responsables de la toma de decisiones de organismos de ejecución de proyectos a la hora de emprender un nuevo proyecto ferroviario urbano. Si bien gran parte de la orientación y las recomendaciones incluidas en este manual pueden aplicarse a diversas formas de transporte público de alta capacidad de pasajeros en zonas urbanas (incluidas las modalidades basadas en autobuses y ferrocarriles), el análisis y los estudios de casos presentados están orientados específicamente a soluciones de metro o de tren metropolitano.

A la experiencia del personal del Banco Mundial este manual suma el aporte de numerosos especialistas y expertos internacionales para sintetizar las "buenas prácticas" a nivel internacional. Por tratarse de un producto de conocimientos, el contenido del manual no responde a ningún interés privado o político. Si bien el manual hace referencia a estudios de casos, políticas y prácticas de diferentes ciudades y regiones, los procesos y las recomendaciones que se describen tienen por objeto brindar información universal.

En lugar de identificar un único enfoque, en este manual se reconocen las complejidades y la localización necesarias a la hora de abordar un proyecto ferroviario urbano, y se ayuda a los responsables de la toma de decisiones a

estar preparados para plantear las preguntas adecuadas, analizar las cuestiones clave, realizar los estudios necesarios, aplicar las herramientas que correspondan y aprender de las buenas prácticas internacionales en el momento oportuno como parte del proceso de desarrollo del proyecto. Este enfoque brinda información que se puede utilizar para tomar decisiones informadas adaptadas a los contextos, las políticas y los objetivos locales. Así pues, el material presentado fue concebido como una guía práctica e imparcial para el desarrollo de sistemas ferroviarios urbanos en ciudades de países tanto de ingreso alto como de ingreso bajo y mediano. Si bien una gran parte del análisis se concentra en la implementación de infraestructura nueva, también se ofrece información muy valiosa para los responsables de la toma de decisiones a cargo de la gestión o modernización de sistemas ferroviarios urbanos existentes.

Estructura

Este manual guía a los responsables de la toma de decisiones de proyectos a través de cada uno de los pasos del proceso de desarrollo del proyecto (véase el recuadro 1.1), destacando las principales decisiones que implican riesgos y recompensas en cada paso y las técnicas disponibles (junto con los recursos necesarios) para abordarlas. En otros capítulos se destacan los temas esenciales y se presentan las herramientas que se aplican durante todo el proceso de desarrollo del proyecto. La manera en que cada lector puede usar este manual depende de la etapa en la que se encuentre en relación con la toma de decisiones y el proceso de desarrollo del proyecto. Para guiar a los diferentes tipos de lectores por los capítulos que son de mayor utilidad de acuerdo con sus circunstancias actuales, en esta sección se ofrece una hoja de ruta del manual en la que se presenta el contenido de cada capítulo. Junto con el índice y el índice general, esta hoja de ruta constituye una herramienta clave para explorar los contenidos de este manual.

En esta introducción, los lectores se familiarizan con los objetivos y la utilidad del manual, y se establecen los principales aspectos que deberán considerarse para maximizar los beneficios de cualquier proyecto ferroviario urbano. En el resto de los capítulos se analizan los pasos específicos del proceso de desarrollo del proyecto o los temas y análisis clave correspondientes a los diversos pasos del proyecto. En cada capítulo se presentan buenas prácticas y se ofrecen ejemplos de proyectos reales. Cada capítulo finaliza con una sección en la que se resumen las principales recomendaciones y se ofrece una guía de referencia rápida sobre cuestiones fundamentales que los responsables de la toma de decisiones deberían tener en cuenta en cada paso de la elaboración del proyecto y para cada tema.

RECUADRO 1.1.

Definición del proceso de desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos

Para la gestión y ejecución de proyectos de infraestructura de transporte de gran envergadura, especialmente los proyectos ferroviarios urbanos, es importante comprender cómo evoluciona el proyecto a lo largo de las etapas, desde la planificación hasta la ejecución, pasando por la puesta en marcha y la operación. En el cuadro B1.1.1 se definen los pasos más importantes del proceso de desarrollo del proyecto tal como se utilizan en los capítulos de este manual. Si bien algunos de los pasos son secuenciales, otros pueden iniciarse de forma paralela (por ejemplo, el financiamiento y las adquisiciones). Algunas de estas definiciones pueden diferir de las que se utilizan en otras fuentes; por lo tanto, este recuadro sirve como una referencia importante a la hora de asimilar y secuenciar las recomendaciones que se indican en los capítulos de este manual. Para poder contextualizar debidamente las actividades y los pasos analizados en este manual, los lectores deben conocer las complejidades inherentes a la planificación e inversión respecto de los proyectos, y reconocer los procedimientos locales relacionados.

CUADRO B1.1.1. Pasos del proceso de desarrollo del proyecto y sus actividades principales

PASO	ACTIVIDADES PRINCIPALES
Planificación del sistema	• Realizar estudios de diagnóstico sobre la movilidad urbana y el uso del suelo. • Elaborar una estrategia de movilidad urbana integrada. • Identificar los corredores prioritarios y definir las necesidades y los requisitos de cada proyecto en función de la visión a largo plazo de la región metropolitana y su desarrollo.
Planificación del corredor	*Generar alternativas de inversión* • Identificar posibles soluciones como respuesta a las necesidades del corredor, el espectro de las inversiones y toda otra restricción. • Confirmar que estas alternativas sean viables desde el punto de vista económico y de la sostenibilidad, y que estén en consonancia con la estrategia de movilidad urbana integrada. *Analizar alternativas de inversión y seleccionar una alternativa preferida* • Evaluar y seleccionar la alternativa de inversión más apropiada y eficaz en función de los costos para satisfacer los intereses de las diversas partes interesadas. • Realizar un análisis de los aspectos ambientales y sociales de alto nivel. • Decidir si es conveniente o no emprender un proyecto ferroviario urbano como la alternativa preferida.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 1.1.

Definición del proceso de desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

CUADRO B1.1.1. Pasos del proceso de desarrollo del proyecto y sus actividades principales *(Continuación)*

PASO	ACTIVIDADES PRINCIPALES
Diseño preliminar	*Iniciar el desarrollo del proyecto ferroviario urbano (diseño preliminar)* • Poner en marcha los sistemas para gestionar el presupuesto, el calendario y el personal del proyecto. • Realizar encuestas para reducir o eliminar las principales incertidumbres del proyecto mediante amplias investigaciones geotécnicas y del sitio, la formulación de planes para la adquisición de terrenos y el desarrollo de planes de protección y de desviación de servicios públicos. • Evaluar los impactos sociales, ambientales, para la salud y la seguridad y los riesgos relacionados con el proyecto, y desarrollar sistemas y planes para su gestión y mitigación.
	• Identificar y analizar opciones para las adquisiciones y la ejecución del proyecto, incluida la agrupación de contratos y la fijación de precios. • Seleccionar la opción preferida.
Diseño detallado	• Producir un diseño que sirva de base para las estimaciones de costos, tiempo, recursos y riesgos de las licitaciones y que sea acorde con el método elegido para la ejecución del proyecto. • Realizar estudios adicionales de integración del proyecto con el desarrollo urbano y otras modalidades de transporte a nivel detallado (estación). • Recibir todos los permisos y las aprobaciones que sean necesarios para adjudicar un contrato y para iniciar la construcción, incluidos diseños finales, títulos de los terrenos y planes de reubicación de los servicios públicos.
Adquisiciones y financiamiento	• Organizar el financiamiento (puede ser parte del método de ejecución en sistemas de asociaciones público-privadas). • Implementar el método de ejecución del proyecto, el mecanismo de fijación de precios del contrato, el método de adquisición y los procedimientos de licitación para el proyecto. • Seleccionar las propuestas de ejecución del proyecto mejor clasificadas y adjudicar los contratos. • Cumplir con las condiciones para el cierre financiero.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 1.1.

Definición del proceso de desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

CUADRO B1.1.1. Pasos del proceso de desarrollo del proyecto y sus actividades principales *(Continuación)*

PASO	ACTIVIDADES PRINCIPALES
Construcción	*Construir la infraestructura* • Administrar todos los contratos para las obras civiles y electromecánicas y para el material rodante. • Supervisar la construcción del sistema ferroviario urbano de acuerdo con las especificaciones de diseño y el presupuesto y calendario del proyecto. *Realizar pruebas y actividades previas a la operación* • Probar el sistema para garantizar que la operación se ajuste al diseño. • Si corresponde, transferir la responsabilidad de los activos del equipo del proyecto al operador. • Establecer situaciones de contingencia o garantías al inicio del período de responsabilidad por defectos.
Operación y mantenimiento	*Operar el sistema ferroviario urbano* • Planificar el servicio y ofrecer un servicio que sea seguro y fiable y que permita satisfacer las necesidades de los usuarios. • Mantener los activos para respaldar la longevidad del sistema. *Cierre del proyecto (al final del período de responsabilidad por defectos, por lo general, de dos a tres años tras el inicio de la operación)* • Saldar cuentas contractuales. • Cerrar formalmente el proyecto y sus sistemas de apoyo.

El diseño del manual gira en torno a las preguntas importantes y de alto nivel que los responsables de la toma de decisiones deberían hacerse durante todo el proceso de desarrollo del proyecto. Si bien en los capítulos se presentan procesos, enfoques, técnicas y análisis importantes que permiten responder estas preguntas, el manual no incluye detalles técnicos significativos sobre los temas. Las referencias de los capítulos son recursos que se pueden consultar para obtener detalles técnicos adicionales.

A continuación se indica el nombre de los capítulos y su contenido general:

- *Capítulo 2, El transporte público urbano de alta capacidad como oportunidad para el desarrollo sostenible e inclusivo:* aquí se establece el marco conceptual para abordar el transporte ferroviario urbano como un proyecto de desarrollo que permita mejorar la vida de todos los ciudadanos y contribuir tanto a la reducción de la pobreza como a una mayor prosperidad para todos.

- *Capítulo 3, La decisión de elaborar un proyecto ferroviario urbano:* se analizan los pasos necesarios para decidir si es conveniente iniciar un proyecto ferroviario urbano como parte de una estrategia de movilidad urbana integrada. Estos pasos incluyen estudios de diagnóstico del transporte urbano y la formulación de una estrategia de movilidad urbana integrada, la elaboración y el análisis de alternativas de inversión en transporte y la selección de una alternativa preferida.
- *Capítulo 4, Planificación de la gestión de proyectos:* se analiza la planificación de la gestión de proyectos, haciendo hincapié en la importancia de la gestión proactiva y sostenida de los proyectos desde las primeras etapas de la planificación hasta su ejecución completa.
- *Capítulo 5, Diseño de un proyecto ferroviario urbano:* se analizan muchas características y opciones de diseño disponibles para proyectos ferroviarios urbanos y se identifican nuevas tendencias en cuanto a las buenas prácticas internacionales. En este capítulo se presentan las ventajas y desventajas de cada una de las opciones de diseño, se analiza la importancia de diseñar proyectos ferroviarios urbanos como sistemas integrados que contemplen la interrelación de estas opciones y se explica cómo calcular los costos estimados de los proyectos en función de las opciones de diseño.
- *Capítulo 6, Optimización de proyectos:* se destaca la importancia de la optimización de proyectos como una tarea constante del proceso de elaboración que debe ser realizada por el personal interno del proyecto y complementarse con la asistencia de expertos externos. En este capítulo se analizan las diversas herramientas para la optimización de proyectos (como los análisis de valor, las revisiones por pares y la ingeniería de valor) que se encuentran disponibles para los organismos de ejecución de los proyectos, el personal y la administración, y se indican otros recursos necesarios para una aplicación efectiva.
- *Capítulo 7, Gestión de riesgos:* se presenta la práctica de la gestión de riesgos tal como se aplica a los proyectos ferroviarios urbanos, incluida la identificación, evaluación, mitigación y asignación de riesgos entre las partes interesadas de los proyectos. Se describen los principales riesgos presentes en los proyectos ferroviarios urbanos, se brindan ejemplos prácticos de cómo se han gestionado o mitigado dichos riesgos y se ofrecen recomendaciones para la gestión eficaz de riesgos.
- *Capítulo 8, Adquisiciones del proyecto:* se presentan los principales aspectos que deberán considerarse a la hora de determinar el modelo de ejecución del proyecto, el mecanismo de fijación de precios del contrato y el método de adquisición para el transporte ferroviario urbano. En este capítulo también se

presentan recomendaciones sobre la forma de gestionar el proceso de licitación y selección. La información aquí contenida se complementa con el capítulo 9, que se enfoca específicamente en un tipo de posibles modelos de ejecución de proyectos: las asociaciones público-privadas (APP).

- *Capítulo 9, Estructuración de asociaciones público-privadas:* se analiza la forma en que se han utilizado las APP para ejecutar proyectos ferroviarios urbanos, las mejores prácticas para lograr la participación del sector privado y las enseñanzas aprendidas. En este capítulo también se brinda orientación sobre las decisiones que deben tomar los Gobiernos a la hora de estructurar una APP, como el alcance del contrato, la asignación de riesgos, la definición de mecanismos de pago y el seguimiento del desempeño.
- *Capítulo 10, Maximización de los fondos y el financiamiento:* se explica la diferencia entre fondos y financiamiento, se indica de dónde pueden, los organismos de ejecución de proyectos, obtener los fondos y el financiamiento necesarios para elaborar los proyectos y se analiza la adecuación de diferentes instrumentos de financiamiento. También se establecen aspectos útiles que deberán considerarse para lograr que los proyectos ferroviarios urbanos sean susceptibles de recibir financiamiento (es decir, que permitan obtener el financiamiento a largo plazo necesario para su desarrollo), centrándose en la movilización de capital privado.
- *Capítulo 11, Preparación para la construcción:* se destaca la importancia de los estudios iniciales, la gestión de grupos de interés y la comunicación como parte de la preparación para la construcción de un proyecto ferroviario urbano. En este capítulo se describen los diferentes métodos de construcción para tramos a nivel, elevados y subterráneos del transporte ferroviario urbano y se analizan sus ventajas y desafíos relativos.
- *Capítulo 12, Organización institucional y gestión del transporte ferroviario urbano:* se presentan alternativas entre diferentes estructuras orgánicas a nivel institucional y de gestión para la implementación y operación de sistemas ferroviarios urbanos. Asimismo, en este capítulo se analiza el respaldo político, jurídico, jurisdiccional y, principalmente, financiero necesario para permitir la viabilidad a largo plazo de estas instituciones y las operaciones del sistema ferroviario urbano.
- *Capítulo 13, Garantía de sostenibilidad financiera y operacional:* se examinan buenas prácticas para la operación sostenible de un sistema ferroviario urbano y se incluyen recomendaciones para la planificación de servicios de operación y el seguimiento del desempeño, la gestión de activos y del mantenimiento, y la gestión fiscal.

- *Capítulo 14, Tratamiento de los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos:* se identifican los principales impactos sociales a corto plazo (durante la construcción) y a largo plazo de los proyectos ferroviarios urbanos y se brinda orientación para poder medir, mitigar y gestionar estos impactos con el objetivo de obtener el mayor beneficio (y la menor cantidad posible de externalidades negativas) para todas las partes interesadas y las comunidades afectadas por el proyecto. En el capítulo también se analiza la importancia de contar con los mecanismos de consultas y comunicación adecuados para lograr que las comunidades locales y otras partes interesadas apoyen el proyecto.
- *Capítulo 15, Gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad:* se hace hincapié en la importancia de implementar un enfoque integral y adaptable para la gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad que permita identificar, mitigar y gestionar los impactos en materia de medio ambiente, salud y seguridad en todos los pasos del proceso de desarrollo del proyecto.
- *Capítulo 16, Mejora de la accesibilidad y determinación de la forma urbana:* se analiza la relación clave entre los sistemas ferroviarios urbanos y la forma urbana, y cómo aprovechar el desarrollo urbanístico para incrementar los beneficios de la accesibilidad regional, local y universal que se obtienen con los proyectos ferroviarios urbanos. En este capítulo se presentan marcos para identificar oportunidades para el desarrollo orientado al transporte público y estrategias para superar los obstáculos durante su implementación.
- *Capítulo 17, Resiliencia a los peligros climáticos y naturales en proyectos ferroviarios urbanos:* se identifican los peligros climáticos y naturales y su impacto en los proyectos ferroviarios urbanos, se analiza cómo integrar la resiliencia en la planificación del transporte a nivel de los sistemas y los proyectos, y se presentan herramientas para abordar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales durante todo el proceso de desarrollo del proyecto.

Información valiosa para los lectores

Los primeros capítulos de este manual (capítulos 2 a 4) son los más pertinentes para los responsables de políticas que están comenzando a analizar una inversión en un sistema de transporte público de alta capacidad, como puede ser el transporte ferroviario urbano. Estos capítulos ofrecen la mayor cantidad de información para los responsables de la toma de decisiones que necesitan realizar los estudios y la planificación necesarios para maximizar el impacto de las

inversiones en sistemas de transporte público de alta capacidad (capítulo 2), decidir si es conveniente desarrollar un proyecto ferroviario urbano (capítulo 3) y determinar cómo gestionar su ejecución (capítulo 4).

Para los responsables de la toma de decisiones que ya están planificando o diseñando un sistema ferroviario urbano, en los últimos capítulos se analizan aspectos importantes relacionados con el diseño y la optimización de los proyectos (capítulos 5 y 6), la gestión de riesgos (capítulo 7), las adquisiciones (capítulos 8 y 9), los fondos y el financiamiento (capítulo 10), la construcción (capítulo 11), la gestión (capítulo 12) y las operaciones (capítulo 13). Por lo tanto, los responsables de la toma de decisiones que se encuentren en cualquier instancia de la elaboración de los proyectos encontrarán en este manual orientación práctica que les permitirá mejorar sus proyectos de cara al futuro.

En otros capítulos se analiza la forma en que los sistemas ferroviarios urbanos interactúan con los objetivos de desarrollo y la prosperidad compartida, los impactos sociales (capítulo 14), el medio ambiente, la salud y la seguridad (capítulo 15), el uso del suelo y la forma urbana (capítulo 16) y la resiliencia a los peligros climáticos y naturales (capítulo 17). Estas consideraciones temáticas se aplican en todos los pasos del proceso de desarrollo del proyecto y juegan un papel importante a la hora de determinar la medida en que el sistema ferroviario urbano afecta a la ciudad receptora de manera positiva. Estos capítulos son de lectura obligatoria para los responsables de la toma de decisiones que trabajan con proyectos ferroviarios urbanos, independientemente de su función o la etapa en la que se encuentren los proyectos actualmente.

Los capítulos del manual se pueden leer por separado, pero debido a la interconexión y complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos, las recomendaciones e interpretaciones de un capítulo permiten reforzar otros y les aportan mayor información (se proporcionan referencias a otros capítulos según corresponda). Se recomienda que los lectores que se encuentren en cualquier etapa del proceso de desarrollo del proyecto exploren otros capítulos del manual para estar atentos a decisiones importantes que pueden venir después o incluso repasar decisiones tomadas en pasos anteriores que pueden seguir incidiendo en la ejecución del proyecto.

En este manual se resume información esencial que los responsables de la toma de decisiones y los gerentes de proyectos deberían analizar a la hora de desarrollar un proyecto ferroviario urbano. No constituye una revisión exhaustiva de todos los temas, sino que presenta cada uno de los pasos y los temas importantes para la elaboración de proyectos y guía a los lectores hacia los recursos detallados más pertinentes en cada una de estas esferas. En este manual no se abordan diversos aspectos técnicos, como patios de maniobras y material rodante, de manera exhaustiva. Se recomienda que los lectores que

deseen profundizar un tema en particular exploren la bibliografía que se cita en cada capítulo y que soliciten asistencia técnica al personal del Grupo Banco Mundial y otros expertos internacionales. Este manual brinda los recursos necesarios para que los responsables de la toma de decisiones y los gerentes de proyectos formulen las preguntas adecuadas e implementen las herramientas analíticas y de gestión apropiadas para ejecutar un proyecto ferroviario urbano. Esperamos que los lectores encuentren en este manual la información que necesitan y que puedan llevarla a la práctica.

Mensajes transversales más importantes

Los sistemas de transporte público de alta capacidad, como el transporte ferroviario urbano, no funcionan en un medio aislado; por el contrario, forman parte de entornos metropolitanos complejos y están destinados a respaldar las actividades económicas y sociales tanto actuales como futuras dentro de la región. Los proyectos de transporte público de alta capacidad no se limitan a la construcción de infraestructura y a la puesta en marcha y operación de vehículos. Para que los proyectos logren cumplir sus objetivos de desarrollo, ofrezcan servicios beneficiosos y permitan mejorar la calidad de vida de la población de manera sostenible, los organismos de ejecución deben acompañar la infraestructura de transporte ferroviario urbano con reformas normativas y medidas complejas y diversas.

Si bien cada contexto local es diferente, la experiencia a nivel internacional indica que determinadas medidas normativas pueden aplicarse en diferentes países y ciudades para ayudar a maximizar el impacto de las inversiones en sistemas de transporte público de alta capacidad, como el transporte ferroviario urbano. Estas medidas normativas son clave para el éxito de los proyectos y, por ende, deben analizarse antes de pensar en los aspectos técnicos de cualquier solución de transporte público de alta capacidad específica. La implementación de estas medidas normativas tiene consecuencias en todos los pasos del proceso de desarrollo del proyecto (preparación del proyecto, planificación, diseño, adquisiciones, financiamiento, construcción y operación y mantenimiento) y requiere la movilización de otras partes interesadas además del Gobierno municipal o del organismo encargado del tránsito que esté a cargo del proyecto.

Los proyectos de transporte público de alta capacidad que se lleven a cabo sin tener en cuenta estos aspectos normativos esenciales perderán importantes oportunidades de lograr un mayor impacto para el desarrollo. Por lo tanto, se recomienda que los responsables de políticas tengan en cuenta los siguientes mensajes desde el principio y los recuerden durante todo el proceso de desarrollo del proyecto:

1. Los proyectos ferroviarios urbanos deben desarrollarse como parte de una estrategia de transporte urbano y uso del suelo más amplia.
2. La gestión y coordinación eficaces del transporte metropolitano son sumamente importantes.
3. Los proyectos ferroviarios urbanos deben formar parte de un sistema de tránsito multimodal jerárquicamente integrado.
4. Es fundamental establecer una política de financiamiento sólida para todo el sistema de transporte, que garantice la sostenibilidad financiera a largo plazo.
5. Los proyectos deben estar diseñados para lograr la sostenibilidad de las operaciones a largo plazo.
6. Los proyectos ferroviarios urbanos deben abordarse como oportunidades para el fortalecimiento de la capacidad y el perfeccionamiento profesional.
7. Para ejecutar los proyectos de manera satisfactoria, se requieren promotores fuertes que impulsen las iniciativas de coordinación y gestionen los aspectos normativos y técnicos.
8. Es muy importante poner en práctica estrategias de comunicación sólidas para abordar la oposición organizada, formar y mantener coaliciones de respaldo, y ayudar a que los proyectos completen el ciclo político.
9. Es muy valioso mantener la flexibilidad durante el proceso de diseño para permitir la aplicación de soluciones que sean aceptables en el contexto local.

A continuación se analiza cada uno de estos aspectos normativos esenciales en más detalle y, en todo el manual, se brindan ejemplos y mayor información.

1. Los proyectos ferroviarios urbanos deben desarrollarse como parte de una estrategia de transporte urbano y uso del suelo más amplia.

El transporte, el uso del suelo, la vivienda y la planificación del desarrollo económico son aspectos que interactúan y se refuerzan mutuamente. Dicha interacción requiere que en las visiones a largo plazo del desarrollo de las ciudades se tenga en cuenta la evolución futura de la distribución de las viviendas y las densidades de los mercados laborales, así como las soluciones de transporte necesarias para satisfacer y fomentar este desarrollo. En particular, la infraestructura de transporte ferroviario urbano debe planificarse como una respuesta a la forma urbana existente y, al mismo tiempo, como un medio para transformar los patrones de transporte, económicos y de uso del suelo a largo plazo en todo el corredor (Salat y Ollivier, 2017).

El desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos debería adoptar un enfoque dinámico para buscar oportunidades de (re)ordenación conjuntas que permitan liberar el potencial del sistema ferroviario urbano para determinar la forma urbana y generar mayor valor o ingresos adicionales para la ciudad o el proyecto. Además de aportar nuevos ingresos para el operador, otras obras, además del corredor y las estaciones de transporte ferroviario urbano, también son sumamente importantes para respaldar un patrón de desarrollo urbano más dinámico, inclusivo y sostenible desde el punto de vista económico para las comunidades locales y la región metropolitana. Una red de transporte ferroviario urbano es infraestructura viva que responde al desarrollo de las ciudades y lo redefine activamente; por consiguiente, tanto el desarrollo de ferrocarriles urbanos como el uso del suelo deben administrarse en estrecha coordinación, especialmente en las megaciudades de rápido crecimiento.

2. La gestión y coordinación eficaces del transporte metropolitano son sumamente importantes.

Como parte de sistemas de transporte urbano más amplios, los proyectos ferroviarios urbanos requieren coordinación entre los diferentes niveles (nacional, regional, y municipal) y los ministerios de Gobierno. Muchos de los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad se ven afectados por la falta de una definición clara de funciones y responsabilidades más allá de la construcción de la infraestructura nueva o porque el proceso carece de coordinación normativa e institucional con los organismos a cargo de otras modalidades de transporte urbano o desarrollo urbano (Kumar y Agarwal, 2013). En conclusión, en una red integrada de transporte público, se debe analizar el marco institucional, y se necesita cierto grado de coordinación de asuntos tales como la integración física, de operaciones y de tarifas con otras modalidades de transporte urbano; el financiamiento general del sistema, la estructura tarifaria y la asignación de los ingresos; proyectos de ampliación; planes de contingencia, y oportunidades de desarrollo orientado al transporte público.

3. Los proyectos ferroviarios urbanos deben formar parte de un sistema de tránsito multimodal jerárquicamente integrado.

Los sistemas de transporte jerárquicamente integrados (STJI) son redes de transporte urbano que respaldan un servicio multimodal de alta calidad mediante la integración de servicios alimentadores en modalidades de transporte público de mayor capacidad (Ardila-Gómez, 2016). El desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos como parte de los STJI mejora la capacidad general, aumenta la accesibilidad y genera externalidades positivas. La

integración plena es especialmente importante para que los sistemas de transporte urbano se transformen en STJI. Para lograr una integración plena, se deben cumplir tres objetivos de manera simultánea: 1) integración física (interconexión entre diferentes tipos de infraestructura de transporte); 2) integración de operaciones (planificación del servicio multimodal) y 3) integración tarifaria (tecnología que funcione en todos los equipos y políticas integrales con respecto a las tarifas y los subsidios en todo el sistema de transporte). Lograr estas tres dimensiones de integración es fundamental para maximizar los beneficios de la accesibilidad y garantizar la sostenibilidad a largo plazo (Salat y Ollivier, 2017; Zimmerman y Fang, 2015).

4. Es fundamental establecer una política de financiamiento sólida para todo el sistema de transporte, que garantice la sostenibilidad financiera a largo plazo.

Resulta muy costoso construir y manejar proyectos ferroviarios urbanos. Los ingresos obtenidos a partir de la venta de pasajes casi nunca son suficientes para cubrir los costos de operación, y mucho menos para financiar los gastos de capital. Por lo tanto, los Gobiernos que deseen desarrollar o ampliar los sistemas ferroviarios urbanos deben analizar formas de complementar los ingresos aportados por los usuarios con otras fuentes de ingresos que puedan utilizarse para subsidiar operaciones relacionadas con el transporte. Para ser sostenibles, los sistemas de transporte urbano requieren fuentes de ingresos alternativas. La capacidad y la voluntad de los usuarios y de la sociedad para comprometer fondos son condiciones necesarias para movilizar el financiamiento y la experiencia del sector privado.

5. Los proyectos deben estar diseñados para lograr la sostenibilidad de las operaciones a largo plazo.

Los sistemas ferroviarios urbanos son activos con una vida útil prolongada que pueden determinar el desarrollo de una región metropolitana durante muchas generaciones. Los beneficios de los proyectos ferroviarios urbanos son difusos y se van materializando a lo largo de la prolongada vida útil operativa del sistema. Las decisiones que se toman para ahorrar dinero hoy pueden generar mayores costos de operación y onerosas tareas de mejora de la capacidad en el futuro. Para maximizar los beneficios, los sistemas ferroviarios urbanos deben desarrollarse de manera tal que permitan respaldar la sostenibilidad de las operaciones a largo plazo del sistema. Durante todo el desarrollo del proyecto, es sumamente importante que el personal a cargo de la planificación y ejecución esté debidamente informado de las necesidades de operación y mantenimiento futuras tanto del proyecto como del sistema.

6. Los proyectos ferroviarios urbanos deben abordarse como oportunidades para el fortalecimiento de la capacidad y el perfeccionamiento profesional.

Se necesita personal idóneo y experimentado en todos los pasos inherentes a la elaboración y la ejecución del proyecto. Debido a la envergadura y la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos y a la relativa falta de experiencia de la mayoría de las ciudades en desarrollo, los proyectos ferroviarios urbanos pueden constituir una oportunidad para generar capacidad interna crítica, tanto en los organismos de planificación y de ejecución como en contratistas y proveedores nacionales. Si se carece de experiencia interna, los consultores y asociados externos pueden asumir determinadas funciones relativas a la elaboración del proyecto, como la planificación, el diseño o la gestión. No obstante, la experiencia externa debe estar controlada y dirigida por personal del organismo que conozca muy bien el proyecto, sea consciente de su contexto más amplio y esté comprometido con su éxito. El personal de este organismo debe tener las aptitudes técnicas, de gestión, de liderazgo y de comunicación necesarias para gestionar todos los contratos con terceros. Una vez completado el contrato o el paso del proyecto en el que están interviniendo, es posible que los expertos externos ya no estén disponibles para contribuir a la resolución de problemas posteriores. Por lo tanto, es importante que los organismos de ejecución de los proyectos aprendan de los expertos durante toda su intervención en el proyecto. Este perfeccionamiento profesional también puede incorporarse en los contratos celebrados con estas entidades. Una vez que los terceros completan sus contratos, el personal interno del proyecto debe asumir la responsabilidad con respecto al conocimiento institucional sobre el proyecto y brindar la continuidad necesaria para ayudar a resolver problemas y trasladar los conocimientos adquiridos a proyectos nuevos.

7. Para ejecutar los proyectos de manera satisfactoria, se requieren promotores fuertes que impulsen las iniciativas de coordinación y gestionen los aspectos normativos y técnicos.

De experiencias anteriores se desprende que el desarrollo de un nuevo sistema ferroviario urbano requiere promotores dedicados, comprometidos y eficaces que puedan convertirse rápidamente en líderes. Las entidades gubernamentales a cargo del desarrollo de estos proyectos deben designar a un gerente de proyecto experimentado y de alto nivel, con la capacidad necesaria para ocuparse de la coordinación con otras entidades gubernamentales a nivel nacional y subnacional. Este promotor debe estar facultado para tomar decisiones oportunas y estar lo suficientemente protegido de la interferencia política para garantizar agilidad

en la gestión y la mitigación de riesgos. Esta función es sumamente importante para el éxito de todo proyecto y no puede delegarse en un consultor, independientemente de la calidad y del nivel de participación de los asesores externos.

8. Es muy importante poner en práctica estrategias de comunicación sólidas para abordar la oposición organizada, formar y mantener coaliciones de respaldo, y ayudar a que los proyectos completen el ciclo político.

Los beneficios de un proyecto ferroviario urbano son dispersos y se distribuyen en comunidades extensas. Debido a su dispersión y a la demora que existe entre la ejecución del proyecto y la materialización de los beneficios, es probable que la mayoría de las personas que pueden beneficiarse no se movilicen para respaldar el proyecto. Por el contrario, los costos o los impactos negativos recaen sobre unas pocas personas que tienen un incentivo inmediato para movilizarse (y que pueden movilizarse con mayor facilidad porque son una cantidad reducida). Incluso un pequeño grupo de oposición puede dominar la cobertura en los medios de comunicación y echar por tierra los planes de proyectos mejor preparados. Por ende, la información de dominio público, el compromiso y la gestión de las partes interesadas, así como la formación de coaliciones de respaldo son partes integrales del desarrollo de ferrocarriles urbanos. Los proyectos ferroviarios urbanos deben contar con una estrategia de comunicación bien diseñada que permita abordar las necesidades estratégicas y tácticas; dicha estrategia debe estar a cargo de un equipo comprometido que pueda reaccionar rápidamente ante las necesidades de comunicación del proyecto durante toda su elaboración.

9. Es muy valioso mantener la flexibilidad durante el proceso de diseño para permitir la aplicación de soluciones que sean aceptables en el contexto local.

Debido a que los impactos son extremadamente localizados, el diseño de los proyectos debe ser lo suficientemente flexible como para tener en cuenta las inquietudes y necesidades de las partes interesadas a nivel local, para quienes un cambio relativamente menor en el diseño (como la ubicación de puntos de acceso a las estaciones) puede determinar si están a favor o en contra del proyecto. Se ha comprobado que con ajustes menores, basados en las observaciones de las partes interesadas, se logra mucho en términos de respaldo de estas partes. Además de fortalecer el apoyo al proyecto, el

hecho de incluir las observaciones realizadas por las partes interesadas también brinda una solución más adaptada al contexto que aporta mayor valor y sostenibilidad.

Nota

Los autores desean agradecer a los revisores Ramiro Alberto Ríos, Arturo Ardila-Gómez, Martha Lawrence, Gerald Ollivier y Navaid Qureshi del Grupo Banco Mundial; Darío Hidalgo del Instituto de Recursos Mundiales (WRI); Gerhard Menckhoff del Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo (ITDP); Juan Antonio Márquez Picón de Metro de Madrid y Dionisio González de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) por compartir su experiencia y críticas reflexivas durante toda la elaboración de este capítulo.

Bibliografía

Ardila-Gómez, Arturo (2016), "Transit Oriented Development for Developing Countries", presentación en el evento "Delivering the New Urban Agenda through Sustainable Urban Mobility Solutions", Habitat III, Quito, Ecuador, 17 a 20 de octubre.

Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo (ITDP) (2017), *The BRT Planning Guide*, 4.a edición, Nueva York: ITDP, https://brtguide.itdp.org.

Kumar, Ajay y O. P. Agarwal (2013), *Institutional Labyrinth: Designing a Way Out for Improving Urban Transport Services—Lessons from Current Practice*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17630

Mandri-Perrott, Cledan y Iain Menzies (2010), *Private Sector Participation in Light Rail–Light Metro Transit Initiatives*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2416

Mitrić, Slobodan (1997), *Approaching Metros as Potential Development Projects (TWU-28)*, Washington, DC: Banco Mundial, http://www.rhd.gov.bd/documents/externalpublications/worldbank/transsectpub/contents/documents/b50.pdf

——— (2008), "Urban Transport for Development: Towards an Operationally-Oriented Strategy", *Transport Paper Series*, TP-22, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17417.

Salat, Serge y Gerald Ollivier (2017), *Transforming the Urban Space through Transit-Oriented Development: The 3V Approach.* Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26405.

Vuchic, Vukan R. (2005), *Urban Transit Operations, Planning, and Economics*, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

——— (2007), *Urban Transit Systems and Technology*, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

Vuchic, Vukan R. y Jeffrey M. Casello (2007), *Transit System Planning*, Washington, DC: Institute of Transportation Engineers.

Banco Mundial (2002), *Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review*, Washington, DC: Banco Mundial, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/928301468762905413/cities-on-the-move-a-world-bank-urban-transport-strategy-review

Zimmerman, Samuel y Ke Fang (2015), "Public Transport Service Optimization and System Integration", China Transport Topics 14, Banco Mundial, Washington, DC, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/322961468019179668/public-transport-service-optimization-and-system-integration

Lecturas adicionales

Ardila-Gómez, Arturo y Adriana Ortegón-Sánchez (2016), *Sustainable Urban Transport Financing from the Sidewalk to the Subway: Capital, Operations, and Maintenance Financing*, Washington, DC: Banco Mundial.

Banco Mundial (2015), *A Measured Approach to Ending Poverty and Boosting Shared Prosperity: Concepts, Data, and the Twin Goals*, documento de investigación sobre políticas, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20384.

2

El transporte público urbano de alta capacidad como oportunidad para el desarrollo sostenible e inclusivo

Georges Darido y Joanna Moody

Con el avance de la urbanización en los países de ingreso bajo y medio, las ciudades se convierten en motores de desarrollo económico cada vez más importantes. El desafío para muchas ciudades en desarrollo es alcanzar un crecimiento económico que sea, al mismo tiempo, equitativo, inclusivo y sostenible. Para materializar esta visión de ciudades prósperas y habitables, serán necesarios políticas y sistemas de transporte que ofrezcan medios de movilidad sostenibles para todos a través de consideraciones de accesibilidad, eficiencia, seguridad y cuestiones ambientales pertinentes (SuM4All, 2017).

La movilidad urbana favorece el crecimiento de las ciudades y sus residentes al brindar oportunidades de accesibilidad universal a empleos, servicios, mercados y otras oportunidades socioeconómicas que mejoran la calidad de vida. Cuando las ciudades crecen, se densifican y se congestionan, un transporte público de alta calidad resulta esencial para alcanzar una movilidad sostenible y acompañar el desarrollo económico para todos los residentes. Los residentes urbanos de menores ingresos, en particular, dependen en gran medida del transporte público y de formas de transporte no motorizado

Fotografía: Una madre y su hijo esperan para abordar un tren *Fuente:* iStock Photo.

(traslado a pie y en bicicleta) para su movilidad diaria. Sin un transporte público rápido, seguro y asequible, muchas personas se ven obligadas a destinar más tiempo y una mayor parte de sus limitados ingresos a viajar (especialmente a trasladarse del hogar al trabajo y viceversa); de lo contrario, sus oportunidades laborales y de otra índole se ven considerablemente restringidas. Asimismo, a menudo puede apreciarse un uso excesivo de las carreteras urbanas por parte de automóviles particulares y vehículos motorizados de dos ruedas en detrimento del transporte público y los modos de transporte no motorizado, lo que redunda en una congestión desmedida, accidentes de tránsito con heridos y muertos, contaminación acústica y del aire, y otras externalidades negativas (SuM4All, 2017). Por lo tanto, las zonas urbanas de mayor densidad requieren soluciones de sistemas de transporte público de alta capacidad con plataforma segregada —como el metro, el tren metropolitano, el metro ligero (LRT) o los autobuses de tránsito rápido (BRT), que se describen en mayor detalle en el capítulo 3— para poder brindar un transporte seguro, ecológico y asequible.

Los proyectos de transporte público de alta capacidad —en particular, de ferrocarriles urbanos— son megaproyectos porque suponen desembolsos de inversiones muy grandes y esencialmente irreversibles para activos con una vida útil prolongada. La implementación de un nuevo sistema de transporte público de alta capacidad (o la ampliación de una red existente) ofrece una oportunidad única de configurar la forma urbana y desarrollar un sistema de transporte que contribuya al desarrollo sostenible. La infraestructura del transporte público de alta capacidad a menudo funciona como el eje de un transporte público eficaz en las grandes ciudades, lo que, a su vez, conforma la base del acceso generalizado a través de otros modos de transporte sostenibles, como el traslado a pie y en bicicleta (SuM4All, 2017). Si está debidamente planificado e integrado en una red de transporte, el transporte público de alta capacidad puede traer consigo ventajas significativas en términos de accesibilidad a empleos, seguridad y otros beneficios para las personas que más lo necesitan y, al mismo tiempo, puede posibilitar otros beneficios potenciales derivados del crecimiento económico y la aglomeración. No obstante, si estos megaproyectos no se planifican ni se diseñan con el desarrollo sostenible en mente, pueden imponer una carga financiera inmensa sobre los Gobiernos que tienen recursos limitados.

En este capítulo se brinda un marco para comprender de qué manera el transporte público de alta capacidad puede apoyar el desarrollo sostenible, con inclusión de la reducción de la pobreza y la prosperidad compartida, en ciudades y regiones metropolitanas. Para comenzar, se incluye un análisis de los patrones de viaje de diferentes grupos de usuarios y se destaca la importancia de los proyectos socialmente inclusivos que benefician a los usuarios de menores ingresos, a las mujeres y a las personas con movilidad reducida.

Luego, se definen cuatro atributos clave de un sistema de transporte público de alta capacidad que tienen impactos socioeconómicos en los usuarios potenciales: amplia disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad, conocidas como las cuatro "A". Para cada "A", en el capítulo se brindan ejemplos y herramientas para evaluar y mejorar cada uno de estos atributos. Si se consideran los impactos en términos de inclusión social y distribución de estas cuatro "A" para todos los grupos de usuarios potenciales a lo largo de todo el proceso de planificación y ejecución, el transporte público de alta capacidad puede ser un importante catalizador del desarrollo sostenible y equitativo.

Transporte urbano socialmente inclusivo

Los proyectos de transporte urbano deben analizarse en función de las necesidades de viaje de todos los residentes de una ciudad o zona metropolitana (véase el capítulo 3). Sin embargo, las medidas globales de beneficios y costos sociales no dan cuenta de las diversas necesidades de viaje de los diferentes usuarios. Para poder evaluar los impactos distributivos de los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad, es importante comprender las necesidades recurrentes y los patrones de viaje únicos de todos los grupos de usuarios potenciales. Si bien un examen exhaustivo de las diferencias entre todos los tipos de usuarios del transporte y demás grupos escapa al alcance de este capítulo, en esta sección se analizan las importantes, y a menudo desatendidas, necesidades de viaje de los residentes de menores ingresos, las mujeres y las personas con movilidad reducida. En las siguientes secciones se presentan el marco conceptual de las cuatro "A" y las herramientas analíticas y normativas conexas que se necesitan para abordar estas cuestiones distributivas en relación con el desarrollo del transporte urbano.

El transporte urbano y los residentes de ingreso bajo

Los residentes de ingreso bajo de muchas zonas metropolitanas dependen en gran medida de los servicios de transporte público para realizar sus actividades económicas y sociales diarias. A pesar de que en las ciudades de todo el mundo los sistemas de transporte público son usados por personas de todos los niveles socioeconómicos, existe evidencia significativa que demuestra que los residentes de ingreso bajo (y otras personas sin acceso a modos de transporte particulares) son quienes más utilizan el transporte público (Aworemi y otros, 2008; Carruthers, Dick y Saurkar, 2005; Organismo Japonés de Cooperación Internacional [JICA] y Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú [MTC], 2004).

En ciudades de países de ingreso tanto alto como bajo y medio, el desplazamiento residencial o económico y la planificación deficiente del uso del suelo han empujado a los residentes de ingreso bajo hacia las periferias (lo cual ha ocasionado un crecimiento desordenado) o hacia distritos céntricos sin acceso a transporte público de alta calidad (Vasconcellos, 2001). En la mayoría de los casos, el resultado es un desfasaje espacial en el cual las oportunidades de empleo formal se concentran mayormente en los distritos comerciales centrales de la ciudad, y pocas opciones de generación de ingresos en el sector formal se encuentran disponibles en las zonas periféricas donde viven las personas de ingreso bajo. Esto supone distancias de viaje promedio más largas, mayores tiempos de viaje y menos opciones de movilidad para las personas de ingreso bajo. Los usuarios de ingreso bajo a menudo necesitan hacer conexiones entre diferentes servicios de transporte público para poder viajar desde el lugar de origen hacia el de destino, lo que genera una carga de tiempo adicional (debido a las esperas para las conexiones) y, en algunos casos, un sobrecosto (en los sistemas que no cuentan con estructuras tarifarias integradas o con descuentos para conexiones).

Cuando las ciudades crecen horizontalmente, los costos de transporte aumentan para los grupos de ingreso bajo que residen en las periferias de las ciudades debido a las mayores distancias que deben recorrer para llegar al destino deseado. Los usuarios del transporte público de ingreso bajo tienden a destinar una mayor proporción de sus ingresos al transporte (Gomide, Leite y Rebelo, 2004). Esto significa que a menudo se ven obligados a renunciar a otros consumos para poder realizar sus viajes obligatorios (como en el caso de las personas que viajan hacia y desde sus trabajos, o para buscar empleo). Mayores distancias de viaje, junto con un mayor número de conexiones y mayor costo monetario proporcional dan lugar a una forma de exclusión social, al reducir el acceso a los empleos, las escuelas, los centros de salud, las actividades sociales y otras oportunidades para los residentes de menores ingresos (Carruthers, Dick y Saurkar, 2005). Muchos países adolecen de una falta de acceso a la atención médica, en especial para las poblaciones de ingreso bajo que residen alejadas del centro de las ciudades. Cuando existen obstáculos que impiden el acceso a la atención médica, es posible que las personas de ingresos bajos tengan que interrumpir tratamientos importantes y que sufran complicaciones (Syed, Gerber y Sharp, 2013), lo que profundiza aún más la pobreza y la falta de oportunidades.

El transporte urbano y las mujeres

En general, se entiende que las mujeres y los hombres tienen patrones de movilidad diferentes (Meloni, Bez y Spissu, 2009). Estos patrones son definidos principalmente por normas sociales y roles de género en virtud de los cuales la economía de las responsabilidades domésticas supone una mayor carga de tiempo para las mujeres, y esto define el propósito, la distancia y el tiempo de viaje, el modo de transporte y otros aspectos de los hábitos de viaje (Uteng, 2011). En comparación con los hombres, las mujeres dependen en mayor medida del transporte público, realizan viajes más complejos que involucran diferentes modos de transporte a menores velocidades y recorren distancias más cortas, lo cual puede restringir su acceso a mejores empleos y otras oportunidades (Uteng, 2011). Las mujeres tienden a viajar más seguido en horas valle, cuando el servicio de transporte público es menos frecuente y los tiempos de espera (especialmente al realizar conexiones) son más prolongados. Según algunos estudios, a las mujeres se les niega con mayor frecuencia el acceso a vehículos de transporte público, especialmente cuando viajan con niños o con paquetes. Incluso cuando logran abordar, los vehículos muchas veces no cuentan con espacios adecuados donde colocar los paquetes o donde las mujeres (o los niños que puedan acompañarlas) puedan tomar asiento.

Por último, las mujeres son más propensas a ser víctimas de acoso o violencia de género en los sistemas de transporte público y, por lo tanto, a menudo tienen una mayor preocupación por la seguridad vial y personal. El temor respecto de la seguridad personal no solo afecta la calidad de vida de las mujeres que utilizan el transporte público para viajar, sino que también puede representar un obstáculo para acceder a mejores oportunidades educativas y laborales. La seguridad vial y personal es, fundamentalmente, una problemática cultural y, por lo tanto, las campañas de concientización, los programas de capacitación para choferes y transeúntes, los mecanismos simplificados de denuncia para las víctimas y una mayor aplicación de leyes y sanciones para los agresores pueden contribuir a combatir la complacencia social[1]. Un mejor diseño de las paradas de autobuses y las estaciones de ferrocarril con una buena iluminación y tecnología de televisión por circuito cerrado también puede ser de ayuda. Asimismo, en lugares donde los vehículos están extremadamente hacinados (en particular durante las horas pico) y en recorridos con una alta incidencia de abusos, reservar un área de los autobuses y de los coches de los trenes urbanos para las mujeres puede servir como solución temporal.

El transporte urbano y las personas con movilidad reducida

Los sistemas de transporte público deben tener en cuenta las necesidades de los usuarios con movilidad reducida, incluidas las personas con discapacidades físicas que afecten su movilidad, las personas mayores, los niños y las mujeres embarazadas. Muchos países cuentan con normas o leyes de diseño bien establecidas que rigen el acceso universal a la infraestructura de transporte público, y que exigen adaptaciones como embarque a nivel de plataforma, ascensores y escaleras mecánicas, pavimento táctil y otras características táctiles, guías sonoras en entradas y escaleras mecánicas, señalización especial, iluminación y otros tipos de elementos de asistencia, así como zonas designadas en vehículos y en estaciones (Babinard y otros, 2012). Si bien estas normas se aplican a todas las nuevas inversiones en sistemas de transporte público de alta capacidad, muchos sistemas heredados todavía tienen falencias que impiden el acceso universal para las personas con movilidad reducida. El acceso universal al transporte público también se ve comprometido por las dificultades que enfrentan las personas con movilidad reducida al transitar por zonas urbanas, por lo que el acceso a vehículos o estaciones es apenas una parte del problema (véase el capítulo 16). Estos obstáculos a la movilidad constituyen formas de exclusión social, ya que el acceso significativamente reducido a los mercados laborales y a otros servicios representa, para las personas con movilidad reducida, un mayor desafío a la hora de mantenerse fuera del ciclo de la pobreza y afecta negativamente su calidad de vida.

Marco conceptual: Las cuatro "A"

En este capítulo, se propone un marco para comprender cómo las inversiones en transporte urbano y servicios relacionados pueden mejorar el bienestar y la inclusión social, en especial para las personas económicamente desfavorecidas. Idealmente, este marco debería formar parte de un análisis de los efectos en la pobreza y en la situación social (AEPSS) llevado a cabo durante la planificación del sistema y los corredores (véase el capítulo 3). En este AEPSS, se evalúan los impactos distributivos y sociales de las reformas normativas sobre los diferentes grupos, con énfasis en los grupos de ingreso bajo y otros grupos vulnerables. El AEPSS tiene como objetivo aportar información para el diseño de políticas y programas, ya que permite proporcionar evidencia sobre lo que ha resultado eficaz o no y proponer cambios o alternativas para lograr mejores resultados (Banco Mundial, 2003).

En el marco de las cuatro "A" se tiene en cuenta el impacto del proyecto o la política de transporte urbano a través de la medición de cuatro atributos analizados desde la perspectiva del usuario: amplia disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad (Gomide, Leite y Rebelo, 2004):

- *Amplia disponibilidad* hace referencia a la conectividad y la cobertura del sistema de transporte (público) urbano.
- *Los servicios* de transporte público a menudo están distribuidos irregularmente a lo largo de una región, y las zonas de menores ingresos a menudo sufren un rezago con respecto a la disponibilidad y la calidad del servicio de ferrocarriles y autobuses.
- *Accesibilidad* hace referencia a la facilidad con la cual una persona puede acceder a las oportunidades (por ejemplo, empleo, atención médica, educación u otras actividades), habida cuenta de la distribución espacial de la ciudad (uso del suelo), la infraestructura y los servicios de transporte disponibles (oferta de transporte), las restricciones temporales de personas y actividades, y las características individuales de las personas.
- *Asequibilidad* hace referencia a los costos financieros y de oportunidad que viajar supone para una persona o un hogar y la medida en la cual las personas pueden permitirse viajar cuándo y adónde deseen.
- *Las tarifas* del transporte público con las cuales se recupera la totalidad de los costos de operación pueden excluir a los usuarios de menores ingresos que más dependen de estos servicios.
- *Aceptabilidad* hace referencia a la calidad de la infraestructura y el servicio de transporte público urbano de alta capacidad para el usuario, e incluye la comodidad, la seguridad vial y personal, y la fiabilidad.

En las siguientes secciones, se describe cada una de las cuatro "A" en mayor detalle, y se analizan posibles indicadores para medir la distribución de cada atributo en los diferentes grupos sociodemográficos. Los responsables de la toma de decisiones pueden usar este marco para realizar ajustes en los proyectos de transporte público de alta capacidad y para mejorar el posible impacto socioeconómico de las inversiones. En las próximas secciones, también se describen herramientas analíticas y normativas útiles para la planificación, el diseño y la ejecución de proyectos de transporte público urbano de alta capacidad que abordan las necesidades de viaje de los diferentes grupos de usuarios.

Amplia disponibilidad

La disponibilidad es el alcance o la cobertura de los servicios de transporte público de alta calidad. Está relacionada con la capacidad de oferta necesaria para satisfacer la demanda actual o proyectada de manera segura, eficiente y fiable. Para funcionar eficientemente, las ciudades con corredores de alta demanda —que prestan servicio a más de 20 000 pasajeros por hora por dirección— por lo general necesitan alguna forma de transporte público de alta capacidad que funcione como eje de su red de transporte. Una vez que se los identifica como parte de una estrategia integrada de movilidad y uso del suelo para la región metropolitana, estos corredores requieren un exhaustivo análisis multicriterio de las alternativas al transporte público de alta capacidad a fin de identificar la solución más adecuada (véase el capítulo 3).

La infraestructura de transporte público de alta capacidad por sí sola no maximizará la disponibilidad de transporte urbano. En cambio, teniendo en cuenta su capacidad de carga y su nivel de servicio, el transporte público de alta capacidad es la mejor opción para atender los corredores con mayor demanda. Es indispensable que el transporte público de alta capacidad esté bien integrado (en términos físicos, de operaciones y también tarifarios) con otros modos de transporte en un sistema jerárquico multimodal que permita minimizar el tiempo total de viaje para los usuarios (incluidos los tiempos de acceso hacia o desde las estaciones a pie, en bicicleta, en autobús o en otros modos de transporte; los tiempos de conexión, y los tiempos de espera) (véase el recuadro 2.1). La cobertura de esta red de transporte urbano debe compararse con la distribución geográfica de las oportunidades y el uso del suelo en la región metropolitana (véase el recuadro 2.2).

Datos y herramientas analíticas para abordar la disponibilidad

En el cuadro 2.1, se enumeran algunos posibles indicadores utilizados para evaluar la disponibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad. Estos indicadores incluyen la disponibilidad de servicios cerca del lugar de residencia de las personas, la frecuencia de los vehículos y los tiempos de espera promedio, además del ahorro de tiempo desde el lugar de origen hasta el de destino en comparación con otras opciones alternativas. La frecuencia del servicio es un importante factor determinante del número de pasajeros y la disponibilidad del sistema.

Al comienzo del proyecto, debe realizarse un inventario de las fuentes de datos disponibles sobre oferta y demanda de transporte. Luego, si fuera necesario, pueden usarse otras encuestas para completar los datos faltantes en la

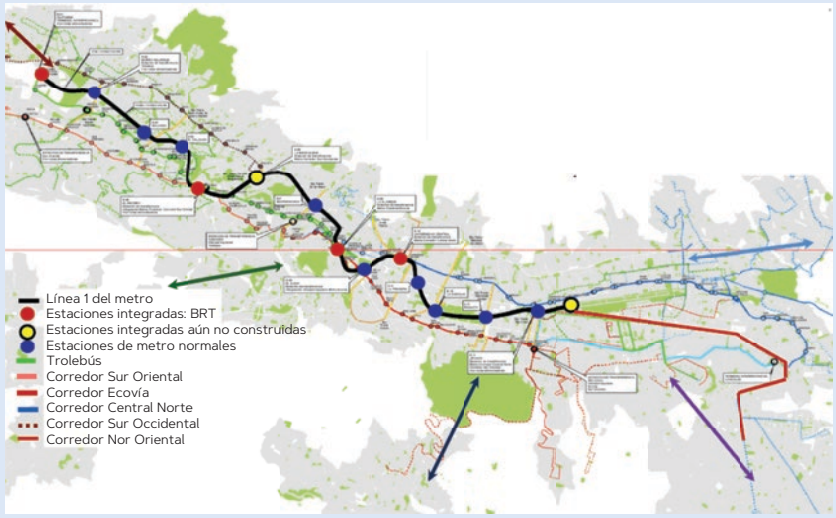
RECUADRO 2.1.

Integración multimodal de un sistema ferroviario urbano desde el inicio del desarrollo del proyecto: Quito, Ecuador

Contar con instalaciones de integración adecuadas en las inmediaciones y en el interior de las estaciones de transporte masivo es un factor importante para maximizar el beneficio social derivado de la inversión. Deben llevarse a cabo estudios detallados donde se analice detenidamente cómo pueden acceder a las estaciones los pasajeros que realizan conexiones desde otros modos de transporte y qué tan seguro y conveniente es para peatones y ciclistas cruzar las calles adyacentes a las estaciones. En Quito, Ecuador, la integración física de la línea 1 del metro, el autobús de tránsito rápido (BRT), el trolebús y los autobuses fue considerada desde el inicio de la conceptualización y la planificación del proyecto (mapa B2.1.1). La línea 1 del metro está integrada con la red de BRT en 6 de 15 estaciones, y se están reorganizando autobuses alimentadores en torno a las 9 estaciones restantes. También está prevista la integración tarifaria del sistema. Al lograr la integración física, de operaciones y tarifaria, Quito tendrá un sistema de transporte público multimodal plenamente integrado.

La línea 1 del metro también permitirá resolver los cuellos de botella que se forman con frecuencia en la amplia red de BRT de la ciudad. Al resolver este problema y complementar los servicios existentes de BRT y autobuses, la línea de metro permitirá incrementar la movilidad y la accesibilidad a las oportunidades y fomentará una mayor ampliación de la red de BRT.

MAPA B2.1.1. Integración física entre líneas de BRT, trolebuses y la línea 1 del metro de Quito



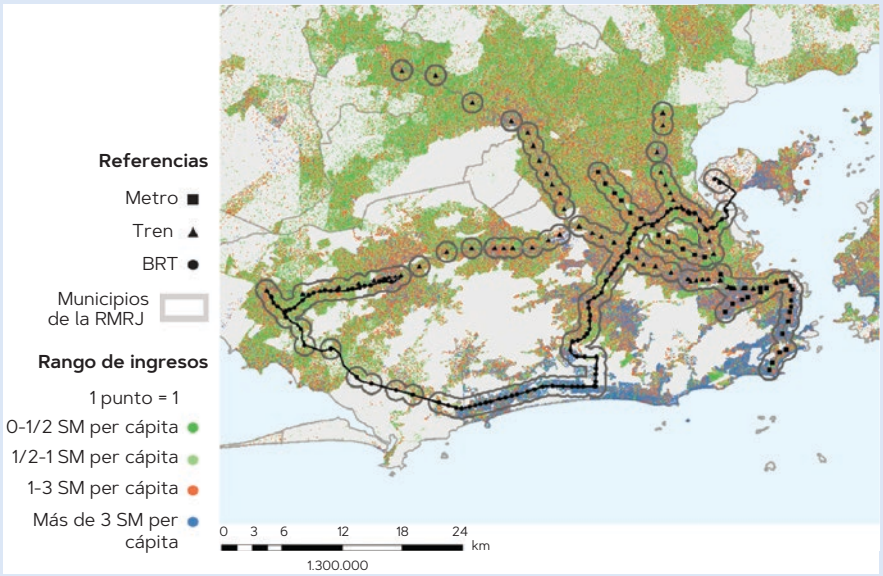
Fuente: Banco Mundial, 2013, 26.

RECUADRO 2.2.

Análisis de la disponibilidad de transporte público en una evaluación geográfica desglosada de los efectos sobre la pobreza: Río de Janeiro, Brasil

En el mapa B2.2.1, se representa la cobertura de las estaciones de transporte masivo (línea de metro, ferrocarril suburbano y BRT) en Río de Janeiro con círculos para indicar las zonas de delimitación de 1 kilómetro y colores para indicar los niveles de ingresos (Marks, 2016). Los puntos verdes representan hogares que perciben ingresos inferiores al salario mínimo, mientras que los puntos rojos y azules representan hogares con ingresos superiores al salario mínimo. Al ser una red de 280 kilómetros de extensión, el sistema de metro, BRT y sistema ferroviario suburbano de Río de Janeiro conecta algunas de las zonas residenciales de menores ingresos de la periferia de la ciudad con áreas con una alta densidad de empleos de la zona metropolitana. Este gráfico pone de manifiesto la importancia de realizar un AEPSS geográfico para cualquier proyecto ferroviario urbano propuesto y de considerar los impactos tanto a nivel de los corredores como de la red. Además de evaluar la distribución espacial de los efectos, en los AEPSS también debe considerarse la distribución de los costos y beneficios entre los diferentes grupos sociodemográficos.

MAPA B2.2.1. Cobertura del transporte masivo e ingresos familiares: Río de Janeiro, Brasil



Fuente: Reproducido bajo la licencia de Creative Commons (CC) con autorización del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (Marks, 2016, 26).
Nota: BRT = autobús de tránsito rápido; RMRJ = Región Metropolitana de Río de Janeiro; SM = salario mínimo.

CUADRO 2.1. Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la disponibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad

INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE ANÁLISIS	REQUERIMIENTOS Y FUENTES DE DATOS
Número o porcentaje de personas en un radio de *x* metros desde un servicio de transporte público de alta calidad, desglosado por características socioeconómicas	Número o porcentaje de personas	Cobertura del transporte público	Datos de redes de transporte público y población con referencias geográficas, desglosados por ingresos
Reparto modal de los viajes entre orígenes y destinos principales en horas y direcciones pico	Porcentaje de personas por hora	Corredor de transporte	Reparto modal de los viajes entre origen y destino desglosado por ingresos y otras características
Intervalos entre trenes y tiempos de espera promedio para los pasajeros del transporte público durante diferentes períodos del día[a]	Minutos	Nivel del recorrido	Cronogramas u horarios del servicio
Tiempo de viaje total en todos los modos de transporte entre pares de origen-destino	Minutos	Viajes por persona	Encuestas de viajes y usuarios, desglosadas por género y características demográficas y socioeconómicas

a. Una vez que el sistema está en funcionamiento, debe analizarse también la regularidad de los servicios (véase el capítulo 13).

información disponible. También es necesario llevar a cabo, al inicio de cualquier proyecto de transporte público urbano de alta capacidad, estudios detallados que permitan cuantificar la disponibilidad de transporte público y su relación con las necesidades de viaje de los diferentes grupos de usuarios.

Cómo abordar la disponibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto

El análisis de la disponibilidad del transporte público de alta capacidad no termina con la recopilación de datos y los estudios iniciales. Por el contrario, es necesario seguir examinando y actualizando las medidas de disponibilidad a la par del avance del proceso de desarrollo del proyecto. En el cuadro 2.2, se brindan pautas para analizar la disponibilidad del transporte público de alta capacidad a lo largo de cada paso del proceso de desarrollo del proyecto a fin de identificar e incorporar oportunidades para mejorar los resultados en términos socioeconómicos.

CUADRO 2.2. Análisis de la disponibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto

PASOS DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO	TAREA	HERRAMIENTAS Y FUENTES DE DATOS
Inicio del proyecto	• Medir y estudiar la oferta y la demanda de transporte urbano (véase el capítulo 3), incluidos los tiempos de viaje, la cobertura y los niveles de servicio "actuales" por zona y grupo demográfico pertinente • Crear una estrategia integrada de movilidad y uso del suelo (véase el capítulo 3) que incluya mapas de los tiempos de viaje, la cobertura y los niveles de servicio "deseados" por zona y grupo demográfico	• Encuestas de origen-destino y datos censales, estudios de la demanda, redes de oferta y servicios • Planes de uso del suelo y distribución espacial de empleos, hogares, población empleada y desempleada, propietarios de automóviles y otros datos por grupo de ingresos y otras características pertinentes inherentes a la demanda • Análisis de los efectos en la pobreza y en la situación social (AEPSS)
Planificación	• Proponer y evaluar alternativas para el proyecto (véase el capítulo 3) con indicadores estimados de disponibilidad por zona y grupo demográfico • Realizar ajustes en el trazado del proyecto, las ubicaciones de las estaciones u otros parámetros de diseño (véase el capítulo 5) para maximizar la disponibilidad de los servicios para los usuarios potenciales, incluidos los grupos más desfavorecidos	• Modelo de demanda de viaje multimodal u otro modelo de planificación de transporte • Análisis multicriterio de alternativas, factibilidad del proyecto y otros estudios de planificación preliminares • Herramienta Open Transit Indicators; véase el ejemplo del metro de Zhengzhou en el capítulo 16[a]
Diseño	• Diseñar el proyecto a fin de garantizar su integración física y operacional con otros modos y otros servicios de transporte (véase en este capítulo la sección sobre herramientas normativas para mejorar la accesibilidad), incluidos otros modos de transporte público, modos de transporte no motorizado y vehículos particulares • Contemplar los niveles de servicio y una política de integración tarifaria para establecer las tarifas (véase la sección sobre asequibilidad en este capítulo)	• Estudios de integración de sistemas y otros estudios técnicos para apoyar la implementación (véase el recuadro 2.1) • Participación ciudadana (véase el capítulo 14) para optimizar el diseño del proyecto

(Cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 2.2. Análisis de la disponibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto
(Continuación)

PASOS DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO	TAREA	HERRAMIENTAS Y FUENTES DE DATOS
Construcción	• Planificar e implementar la red de alimentadores y medidas de integración para el sistema de transporte público de alta capacidad	• Interacción con las partes afectadas para minimizar los impactos negativos • Encuestas y talleres con usuarios potenciales, incluidos los grupos más desfavorecidos
Operación	• Evaluar la calidad y el nivel de servicio para cada grupo de usuarios, incluidas las poblaciones más desfavorecidas	• Datos de desempeño en tiempo real proveniente de sistemas de ubicación de vehículos, gestión de flotas y otros sistemas de avanzada que utilicen una norma de datos como la General Transit Feed Specification (GTFS)

a. Véase https://www.transitwiki.org/TransitWiki/index.php/Open_Transit_Indicators.

Accesibilidad

La accesibilidad regional o urbana[2] hace referencia a la facilidad con la cual una persona puede acceder a las oportunidades (por ejemplo, empleo, atención médica, educación u otras actividades), habida cuenta de la distribución espacial de la ciudad (uso del suelo), la infraestructura y los servicios de transporte disponibles (oferta de transporte), las restricciones temporales de personas y actividades, y las características individuales de las personas.

Para que la inversión en transporte público urbano de alta capacidad permita aumentar las oportunidades disponibles para todos, es importante que los organismos de ejecución del proyecto tengan en cuenta los posibles impactos de la inversión sobre la accesibilidad. Los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad pueden posibilitar la accesibilidad regional, en especial para las personas que viven en la periferia y deben recorrer largas distancias en busca de mejores empleos (Gwilliam, 2002). Una vía segregada con paradas limitadas mejora la velocidad, la fiabilidad y otros aspectos de los servicios de transporte público de alta capacidad, en especial a mayores distancias. Mayores velocidades de viaje y trazados más directos se traducen en tiempos de viaje más cortos y mayor acceso a las oportunidades socioeconómicas. De este modo, el transporte público de alta capacidad puede mitigar los efectos del desfasaje espacial entre los empleos y las viviendas al aumentar la accesibilidad de los residentes a

oportunidades de empleo formal y otros servicios disponibles en los distritos comerciales centrales de la ciudad. La actividad económica que puede resultar de la conexión de barrios y trabajadores con empleos es uno de los beneficios sociales que impulsan los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad. Igual de importante para la reducción de la pobreza es la conexión de los residentes de ingreso bajo con otros servicios como atención médica de alta calidad, capacitación y educación y otras actividades. Al reducir la imposibilidad de acceder a estos servicios por motivos relacionados con el transporte, los sistemas de transporte público de alta capacidad debidamente integrados pueden contribuir a estimular el capital social (y también económico).

El transporte público de alta capacidad mejora la accesibilidad en mayor medida cuando está debidamente conectado con otros modos de transporte, en especial con los autobuses alimentadores locales y las opciones de transporte no motorizado (véase el capítulo 16). Así, una integración física que minimice las distancias verticales y horizontales y los obstáculos en las conexiones entre el transporte público de alta capacidad y otros modos de transporte constituye un requisito previo para mejorar la accesibilidad (véase el recuadro 2.3).

Datos y herramientas analíticas para abordar la accesibilidad

La accesibilidad constituye una poderosa óptica a través de la cual evaluar la manera en que un proyecto de transporte público urbano de alta capacidad beneficiará a los usuarios potenciales como parte de una red de transporte urbano multimodal.

Pueden usarse diferentes indicadores para medir, analizar y visualizar la accesibilidad de los sistemas de transporte público de alta capacidad. En la iniciativa Movilidad Sostenible para Todos, se define un indicador clave de la accesibilidad como "la proporción de la población que goza de un acceso conveniente al transporte público, desglosada por edad, sexo y personas con discapacidades" (SuM4All, 2017, 42). También pueden y deben utilizarse muchos otros indicadores de la accesibilidad, ya que la accesibilidad es el criterio más potente con el cual medir el impacto económico de los proyectos de transporte público de alta capacidad (véase el cuadro 2.3).

El número de empleos a los que puede accederse en un lapso de 45 a 60 minutos es un indicador común para evaluar la eficacia del servicio prestado por el sistema de transporte urbano a una zona espacial o grupo de personas en particular (por ejemplo, a las personas más desfavorecidas). La comparación de esta medida entre diferentes partes de una región o la representación gráfica de la medida entre diferentes grupos sociodemográficos permite a los organismos de ejecución del proyecto visualizar la magnitud de la desigualdad espacial

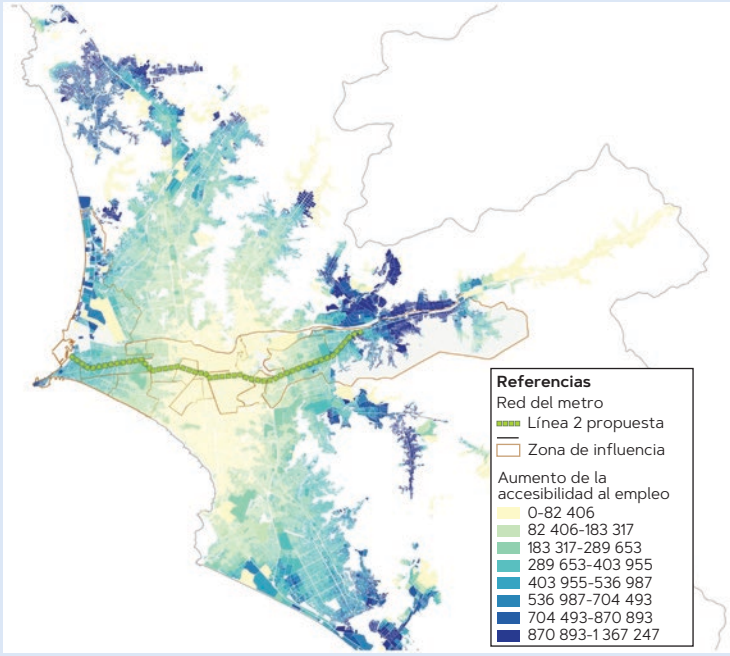
RECUADRO 2.3.

Mejora de la accesibilidad regional: línea 2 del metro de Lima, Perú

La línea 2 del metro es un excelente ejemplo de cómo la ampliación de la accesibilidad para los residentes de menores ingresos puede ser uno de los principales beneficios de una inversión en ferrocarriles urbanos cuando se la analiza en las primeras etapas del proceso de desarrollo del proyecto. Esta línea promete aumentar el acceso a empleos y otros servicios sociales para todos los residentes de la región metropolitana, incluidas las poblaciones de ingreso bajo que residen en la periferia de la ciudad. Este beneficio se materializará principalmente a través de la reducción de los tiempos de viaje y de espera para el gran número de personas que viajan por el corredor del Metro.

Un indicador de accesibilidad regional utilizado para evaluar la línea 2 del metro

MAPA B2.3.1. Aumento general en el número de empleos a los que puede accederse a través del transporte público en 60 minutos: línea 2 del metro de Lima



Fuente: Banco Mundial, 2015b, 86.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 2.3.

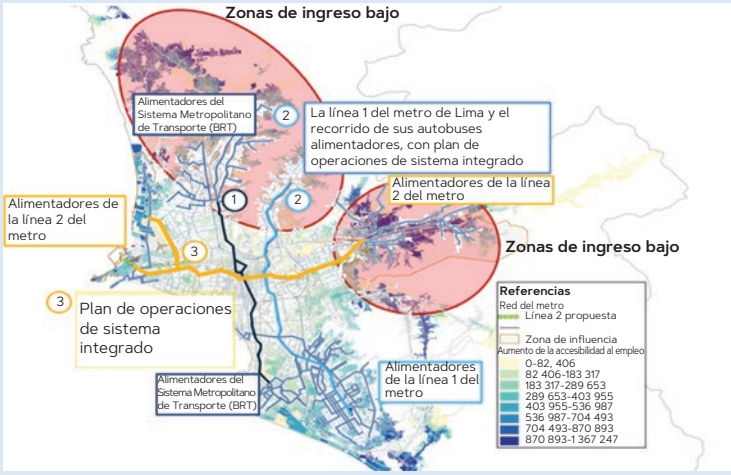
Mejora de la accesibilidad regional: línea 2 del metro de Lima, Perú

(Continuación)

propuesta es el número de empleos que se encuentran al alcance del transporte público en un viaje unidireccional de 60 minutos de duración en la zona de influencia del trazado (véase el mapa B2.3.1). Este indicador se medirá antes (2014 será el año de referencia) y después de la finalización del proyecto por medio de un estudio de evaluación del impacto. Una vez que la línea 2 del metro se finalice y se encuentre debidamente integrada con la línea 1 del metro y con el Sistema Metropolitano de Transporte, se prevé que el número de empleos a los que se podrá acceder en un viaje unidireccional de 60 minutos de duración aumentará hasta un 25 %.

El indicador del mapa B2.3.1 representa el número de todas las oportunidades de empleo formal para todas las categorías de la población. No da cuenta específicamente de la correspondencia de ciertos tipos de empleos con las aptitudes y las necesidades de los grupos de menores ingresos porque este nivel de detalle generalmente no se encuentra disponible en las fuentes de datos existentes. No obstante, a modo de sustituto de un análisis desglosado de estas características, puede superponerse un mapa de accesibilidad sobre un mapa donde se muestre la ubicación de los grupos de menores ingresos (u otros grupos) (véase el mapa B2.3.2) a fin de visualizar los

MAPA B2.3.2. Aumento en el número de empleos a los que puede accederse a través del transporte público en 60 minutos para las zonas de ingreso bajo: línea 2 del metro de Lima



Fuente: Adaptado de Banco Mundial, 2015b.
Nota: BRT = autobús de tránsito rápido

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 2.3.

Mejora de la accesibilidad regional: línea 2 del metro de Lima, Perú

(Continuación)

posibles desequilibrios distributivos en la ampliación de la accesibilidad lograda a partir del proyecto. Luego, a medida que el proyecto avance, podrán analizarse en estudios más detallados los impactos distribuidos sobre los diferentes grupos.

En virtud de esta buena práctica, en el estudio de la línea 2 del metro no solo se analizó la accesibilidad regional total, sino también los beneficios en términos de accesibilidad para los usuarios de ingreso bajo. En el mapa B2.3.2 se ilustra cómo se corresponden los cambios en la accesibilidad a los empleos generados a partir de la construcción de la línea 2 del metro con las zonas de ingreso bajo de la ciudad. Conforme a lo previsto, en las zonas de menores ingresos de la periferia de la ciudad se podrán apreciar algunos de los mayores aumentos en el acceso a oportunidades laborales tras la implementación de la nueva línea del metro y su integración con los servicios de la línea 1 del metro y el BRT en Lima, Perú.

CUADRO 2.3. Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la accesibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad

INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE ANÁLISIS	REQUERIMIENTOS Y FUENTES DE DATOS
Tiempo total de viaje entre pares de origen-destino, por medio de transporte, incluidos el tiempo para el acceso, de espera y en vehículo	Minutos	Viajes por persona	Encuestas de tránsito y de origen-destino
Número o porcentaje de empleos a los que se puede acceder en un viaje de 45 a 60 minutos en transporte público	Número o porcentaje de empleos	Accesibilidad a un empleo por parte de ciudad-persona	Ubicaciones de empleos o principales centros de actividad con referencias geográficas
Número o porcentaje de personas (de diversas categorías) a las que se puede acceder en un período dado desde una zona de empleo determinada	Número o porcentaje de personas	Accesibilidad a un trabajador por parte de ciudad-empleador	Ubicaciones de empleos o principales centros de actividad con referencias geográficas
Número o porcentaje de centros de salud o educativos a los que se puede acceder en un viaje de 45 a 60 minutos en transporte público; análisis de un único punto o regional	Número o porcentaje de centros	Número ponderado ajustado según los cambios demográficos por ciudad-persona	Datos censales; catastro de servicios sociales; Red de Transporte con GTFS

en términos de accesibilidad (recuadro 2.3). Al cuantificar a cuántas oportunidades más de empleo formal pueden acceder los residentes urbanos de menores ingresos en un lapso de 45 a 60 minutos, esta medida constituye un valor de referencia crítico para evaluar los impactos de una inversión en transporte público de alta capacidad (Mehndiratta y Peralta-Quirós, 2015). Las mismas herramientas analíticas pueden aplicarse para explorar el acceso de las diferentes zonas de la ciudad y de los diferentes grupos sociodemográficos a otras oportunidades además del empleo formal, como educación, atención médica, espacios verdes y otros servicios.

Las dificultades relativas a los datos y los cálculos figuran entre los factores que han limitado un uso más generalizado de la accesibilidad regional como herramienta de planificación en los proyectos de transporte público de alta capacidad. Para un análisis de la accesibilidad, se requieren datos espaciales básicos sobre el sistema vial y de transporte público actual de la ciudad receptora y la red de transporte público de alta capacidad planificada. Además, es necesario contar con datos desglosados espacialmente sobre los indicadores de interés, como población, empleos (fuentes de empleo tanto formal como informal), escuelas y hospitales, parques y espacios verdes, y otras actividades de interés. Por ende, los censos exhaustivos y las encuestas de viajes de hogares son de vital importancia.

Los avances recientes han permitido un análisis de la accesibilidad a través del uso de software de código abierto, lo que ha reducido considerablemente las barreras tecnológicas que impedían evaluar la accesibilidad durante la planificación de proyectos de transporte público de alta capacidad. Algunas herramientas de código abierto fáciles de usar para el análisis geoespacial del transporte urbano son Open Trip Planner Analyst, General Transit Feed Specification y Open Traffic[3].

Herramientas normativas para abordar la accesibilidad

La mejor herramienta normativa para maximizar los beneficios en términos de accesibilidad de la infraestructura de transporte público de alta capacidad es considerar su desarrollo como parte de un sistema de tránsito multimodal jerárquicamente integrado. En este tipo de sistemas, la infraestructura de transporte público de alta capacidad funciona como el eje troncal de alta capacidad y alta frecuencia de la red de transporte público, al cual debe poder accederse fácilmente a través de los sistemas formales e informales de autobuses y taxis y de modos de transporte no motorizados. Para garantizar este acceso, hay tres tipos de integración que resultan indispensables para el éxito de cualquier proyecto de transporte público urbano de alta capacidad, pero particularmente para los sistemas ferroviarios urbanos: 1) la integración física; 2) la integración de operaciones, y 3) la integración tarifaria. Estas tres dimensiones de la

integración son fundamentales para maximizar los beneficios en términos de accesibilidad y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de cualquier sistema ferroviario urbano (Salat y Ollivier, 2017; Zimmerman y Fang, 2015).

La forma más esencial de integración multimodal es la integración física: la interconexión entre las estaciones de metro y de ferrocarril suburbano y las terminales de autobuses y demás infraestructura destinada a favorecer la accesibilidad local (por ejemplo, a pie y en bicicleta). Una solución para las zonas urbanas con mayor densidad es construir estaciones multimodales de varios niveles, debidamente señalizadas y equipadas con ascensores y escaleras mecánicas con el fin de ofrecer accesibilidad universal. En las zonas con menor densidad o donde ya exista infraestructura heredada, pueden construirse estaciones separadas, pero su diseño debe apuntar a minimizar las distancias a pie (tanto horizontales como verticales) y los puntos de conflicto entre los distintos modos, incluidos peatones y ciclistas y también vehículos.

El segundo tipo de integración es la integración de operaciones. Un nuevo proyecto de transporte público de alta capacidad a menudo requiere una reorganización del sistema de transporte público existente en una red troncal-alimentadora. Para llevar a cabo la planificación de este tipo de servicios multimodales integrados, es necesario estimar el tiempo y el costo total de un viaje para todos los tipos de usuarios y de trayectos. Un análisis de estas características requiere de datos de origen-destino y un modelo de demanda y oferta que permita estimar la frecuencia y la fiabilidad de los diferentes modos de transporte y recorridos, los tiempos de espera, las penalizaciones de realizar conexiones y la facilidad de acceso y egreso hacia y desde el sistema de transporte público general. La integración de operaciones es difícil de llevar a cabo, especialmente en lugares donde los usuarios del transporte público están acostumbrados a usar un taxi o un minibús informal. A los pasajeros no les gusta hacer trasbordo, aunque así minimicen su distancia de viaje y su tiempo de espera. Al mismo tiempo, las líneas de transporte público de alta capacidad en corredores de alto volumen de grandes ciudades funcionan mejor cuando están operativamente integradas de una manera jerárquica que permite aprovechar las características de desempeño de cada medio de transporte individual.

Un tercer tipo de integración —la integración tarifaria— requiere mucho más allá que contar con tecnología interoperable como tarjetas inteligentes sin contacto: implica contemplar la estructura y la política de tarifas que mejor permitan equilibrar el bienestar social de los usuarios y la sostenibilidad financiera de la operación. Muchas ciudades poseen estructuras complejas con tarifas diferenciadas según los distintos tipos de usuarios, los modos de transporte, los momentos del día, las distancias y las conexiones (véase la sección sobre herramientas normativas para abordar la asequibilidad). Sin embargo, independientemente de

cuál sea la estructura final, las tarifas deben establecerse junto con la política de financiamiento a nivel del sistema multimodal, teniendo en cuenta las compensaciones entre los ingresos de operación y la asequibilidad para el usuario, en especial para los usuarios cautivos del transporte público.

Asequibilidad

La asequibilidad se refiere al costo financiero que implica viajar para una persona o un hogar y la medida en la cual las personas pueden permitirse viajar cuándo y adónde desean (DETR, 2000)[4]. El costo financiero de viajar incluye no solo el costo directo de las tarifas que los usuarios deben pagar para llegar a destino, sino también el costo de oportunidad de otros consumos potenciales sacrificados para poder hacer viajes obligados. El gasto en transporte juega un papel particularmente significativo en el presupuesto de los hogares de ingreso bajo. Mientras que en los quintiles superiores de la escala de ingresos se gasta más en transporte en términos absolutos que en el 40 % más bajo de la escala, la carga o la proporción de los costos de transporte es mayor para los dos quintiles inferiores, en especial para las personas que no pueden trasladarse a pie a su destino (cuadro 2.4; véase también Carruthers, Dick y Saurkar, 2005).

Para las poblaciones de ingreso bajo, gastar más del 10 % al 15 % de sus ingresos en transporte público constituye una carga importante. En algunas ciudades en desarrollo, el quintil inferior gasta hasta el 30 % de sus ingresos en viajes para trabajar (Carruthers, Dick y Saurkar, 2005). Tradicionalmente, la asequibilidad del transporte se estimaba usando los gastos en servicios de transporte público como porcentaje de los ingresos (como en el cuadro 2.4). Este gasto luego se comparaba con un límite porcentual fijo, y si el gasto superaba el límite, se consideraba que las tarifas del transporte público eran inasequibles y se determinaba la necesidad de un subsidio (Gómez-Lobo Echenique, 2007). No obstante, este enfoque comparativo de la asequibilidad adolece de serias limitaciones. En primer lugar, el gasto financiero (observado) en transporte no es el mismo que el costo generalizado del transporte para ciertos usuarios (Serebrisky y otros, 2009). Por ejemplo, al contemplar el "costo oculto" (como la incomodidad, el tiempo de viaje y las exigencias físicas) de trasladarse a pie, el gasto en transporte incurrido por los residentes de ingreso bajo puede aumentar considerablemente. Asimismo, la demanda de los residentes de ingreso bajo puede ser menor debido al elevado costo de los viajes, y es difícil estimar la carga de estos viajes no realizados a partir de los datos disponibles.

CUADRO 2.4. Proporción de los ingresos familiares totales destinados al transporte público en ciudades seleccionadas

CIUDAD	PORCENTAJE PARA UN HOGAR PROMEDIO	PORCENTAJE PARA UN HOGAR CON INGRESOS CORRESPONDIENTES AL QUINTIL INFERIOR
Buenos Aires, Argentina	4	26
Chennai, India	8	19
Lima, Perú	10	20
Manila, Filipinas	5	17
Ciudad de México, México	3	19
Mumbai, India	9	23
Río de Janeiro, Brasil	6	30

Fuentes: Basado en datos sobre ingresos per cápita (en dólares estadounidenses) correspondientes a 2005 (Carruthers, Dick y Saurkar, 2005) a excepción de Perú, que se basa en datos correspondientes a 2010 (Banco Mundial, 2015b).

Por consiguiente, la bibliografía sobre la asequibilidad del transporte público sugiere que es necesario contar con medidas de asequibilidad más desagregadas en los diferentes grupos sociodemográficos y zonas espaciales de la ciudad para asegurar que los subsidios beneficien a los usuarios de ingreso bajo más necesitados (Gómez-Lobo Echenique, 2007; Serebrisky y otros, 2009). En esta sección se analizan los datos y las herramientas analíticas para abordar la asequibilidad del transporte público de alta capacidad y se presentan las herramientas normativas a las que este tipo de análisis puede servir como orientación. En líneas generales, la bibliografía sugiere que los subsidios a la demanda (subsidios directos a los pasajeros, en lugar de a los operadores) son más eficaces a la hora de aumentar la asequibilidad de los servicios de transporte público.

Datos y herramientas analíticas para abordar la asequibilidad

Para estudiar la asequibilidad de los sistemas de transporte urbano, es importante tener acceso a datos sobre ingresos y gastos (por lo general, mensualmente), la cantidad de viajes (por día) que realiza un grupo demográfico específico, la política tarifaria del sistema (incluido el ofrecimiento de cualquier beneficio específico para el transporte público) y, si es posible, comprender el costo de oportunidad del servicio (Gomide, Leite y Rebelo, 2004).

Los datos sobre ingresos a menudo se obtienen de encuestas de presupuestos de hogares y otras encuestas de propósitos múltiples. En el cuadro 2.5, se presenta un ejemplo de indicadores generalmente utilizados para medir la asequibilidad de los servicios de transporte urbano y las posibles fuentes de donde podrían obtenerse estos datos.

Como una primera aproximación, la asequibilidad puede expresarse como una relación entre el gasto mensual de un usuario en transporte (relacionado con las tarifas que cobra el sistema) y el ingreso del jefe de hogar. En muchos casos, la asequibilidad también se mide en términos de gastos del hogar en su conjunto. Por ende, cualquier análisis de la asequibilidad debe realizarse a nivel de la persona o el hogar.

En Gomide, Leite y Rebelo (2004) se ofrece un enfoque para calcular el "índice de asequibilidad" de un hogar que resulta útil para comprender la asequibilidad del transporte público en las zonas urbanas. Este enfoque se basa en un método de cinco pasos para calcular el índice de asequibilidad de una ciudad:

1. A partir de los datos del último censo nacional de hogares, se calculan el ingreso mensual promedio per cápita y el promedio para el quintil inferior de distribución de ingresos para la ciudad.
2. Estos valores se actualizan al año de referencia por medio de tasas de crecimiento del ingreso per cápita.
3. Se determina la tarifa mínima de transporte público para viajar 10 kilómetros con un boleto diario.
4. Se usa esta tarifa para calcular el costo correspondiente a 60 viajes (2 viajes por 30 días al mes).
5. Se expresa este costo como porcentaje de los ingresos mensuales promedio y del quintil inferior.

Pese a lo atractiva que resulta para estimar índices de asequibilidad comparables entre ciudades y países, esta medida de asequibilidad es problemática. En particular, no contempla los posibles cambios en las tarifas atribuibles a respuestas de la oferta necesarias para adaptarse al número fijo de viajes analizado (Serebrisky y otros, 2009). Además, no queda claro qué interpretación en términos de bienestar puede hacerse a partir de una medida de este tipo ni tampoco cómo puede utilizarse para evaluar intervenciones normativas. A pesar de estas deficiencias, esta medida igualmente puede servir como una primera aproximación para determinar las adversidades que afrontan ciertos grupos de la población y como un posible indicador de cuándo amerita (o no) realizar un análisis más profundo. No obstante, al analizar las implicaciones

CUADRO 2.5. Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la asequibilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad

INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE ANÁLISIS	REQUERIMIENTOS Y FUENTES DE DATOS
Ingreso familiar promedio o ingreso promedio mensual per cápita	USD u otra moneda	USD por hogar o persona (jefe de hogar)	Presupuesto del hogar y otros sondeos y encuestas
Costo del viaje en transporte público por pasajero	USD u otra moneda	USD por pasajero	Encuestas administrativas
Gasto por hogar o persona en transporte como proporción de los ingresos, el producto interno bruto o el salario mínimo	Porcentaje	USD por hogar o persona	Encuestas de hogares; encuestas de origen-destino
Eficiencia de la focalización de las tarifas subsidiadas	Porcentaje de beneficiarios pertenecientes al 40 % inferior u otra categoría de ingreso bajo	Persona	Encuestas de hogares; encuestas administrativas; mecanismos nacionales de focalización
El área entre la línea de 45° y la curva de distribución de Lorenz dividida por el área por debajo de la línea de 45°	Coeficiente de cuasi Gini	Curva de distribución relativa de beneficios de los hogares (Lorenz)	Encuesta de viajes de hogares y estudio de movilidad
Número o porcentaje de subsidio destinado a hogares de ingreso bajo sobre el porcentaje de hogares de ingreso bajo de la población	Coeficiente (Ω)	Curva de distribución relativa de beneficios de los hogares (Lorenz)	Encuesta de viajes de hogares y estudio de movilidad

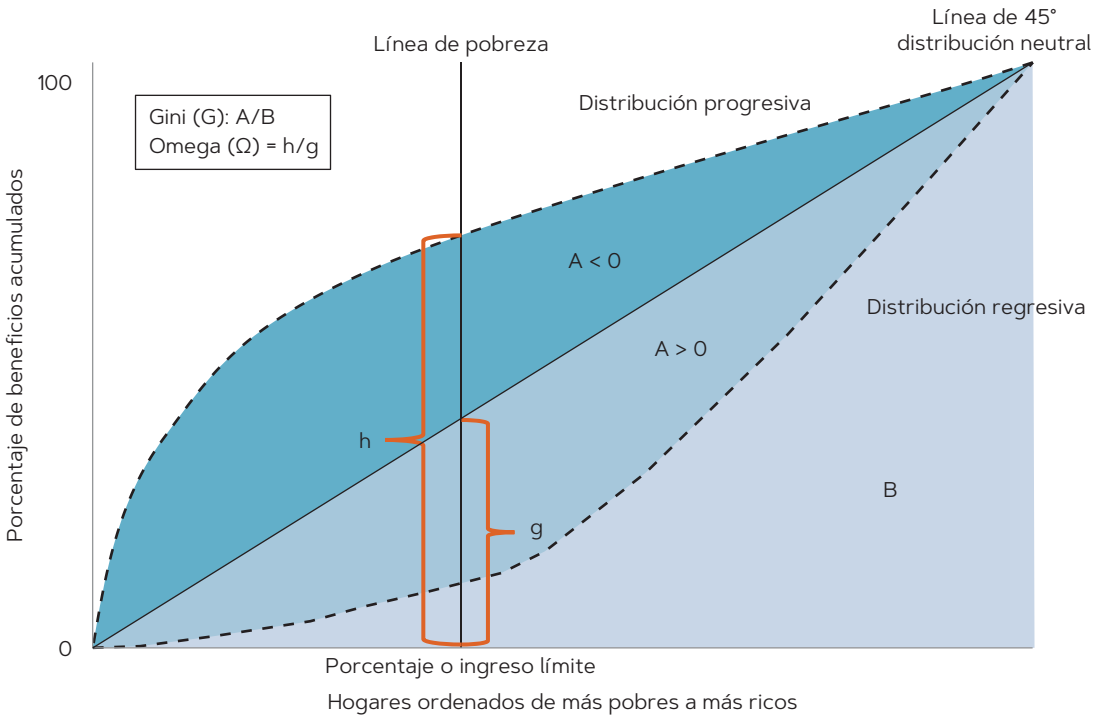
distributivas de la asequibilidad para una política específica o un conjunto de alternativas normativas, es posible que sea necesario utilizar otros indicadores.

Un método alternativo es trazar una curva de Lorenz, o curva de distribución relativa de beneficios, para la política propuesta (Komives y otros, 2005). La curva de Lorenz permite representar gráficamente el porcentaje de un subsidio destinado al primer segmento *k*.o de hogares según alguna medida de ingresos, gastos o distribución de la riqueza (véase el gráfico 2.1). Hay dos indicadores relacionados con la curva de distribución relativa: el coeficiente de cuasi Gini (G) y Ω (véase el cuadro 2.5). El coeficiente de cuasi Gini brinda una medición resumida de la naturaleza progresiva o regresiva de la política de subsidios en cuestión. Este coeficiente se calcula como el área entre

la línea de 45° y la curva de distribución (con un valor negativo cuando la curva se encuentra por encima de la línea de 45°) dividido por el área por debajo de la línea de 45° (véase el gráfico 2.1). Cuanto más próximo a –1 sea el coeficiente de cuasi Gini, más progresiva será la distribución de los impactos (Serebrisky y otros, 2009).

Otra medida resumida de la incidencia distributiva de un subsidio es el valor Ω: el porcentaje del subsidio destinado a los hogares pobres dividido por el porcentaje de la población que representan los hogares pobres (véase el gráfico 2.1). En este enfoque, es necesario que el analista defina un porcentaje o valor de ingresos límite por debajo del cual los hogares se categorizan como de ingreso bajo. El valor Ω es el porcentaje del subsidio total destinado a este grupo; se

GRÁFICO 2.1. Curva de beneficios de Lorenz e indicadores relacionados



Fuente: Adaptado de Serebrisky y otros, 2009.

encuentra por encima de 1 en el caso de un subsidio progresivo y por debajo de 1 en el caso de uno regresivo (Serebrisky y otros, 2009).

La curva de distribución relativa de beneficios es una herramienta útil para comparar el impacto distributivo de las diferentes políticas, ya que brinda una representación gráfica de la incidencia relativa de los beneficios. Cuando se superponen las curvas correspondientes a diferentes intervenciones normativas en el gráfico, a menudo es posible categorizarlas según su impacto distributivo. Esto es posible cuando las distintas curvas no se intersecan entre sí, en cuyo caso la curva más alta dominará a las demás en términos de progresividad (Serebrisky y otros, 2009).

Desde un punto de vista práctico, es necesario contar con información detallada sobre los patrones de viaje y las características socioeconómicas de los hogares para poder aplicar la metodología propuesta. En muchos casos, habrá disponibles una encuesta de hogares y un estudio de movilidad para una ciudad dada; en otros, especialmente en los países de ingreso bajo y medio donde los esfuerzos de recopilación de datos no son tan frecuentes, la información disponible puede ser más escasa o estar desactualizada.

Antes de planificar la ejecución de un posible proyecto de transporte público urbano de alta capacidad, es importante analizar la asequibilidad de los servicios de transporte urbano existentes. El análisis es útil para asegurar que las tarifas se fijen a un nivel asequible para garantizar el número de pasajeros previsto y la inclusión de los grupos de ingreso bajo. En el cuadro 2.6 se incluyen pautas para que las autoridades gubernamentales analicen la asequibilidad de las tarifas a través de los diferentes pasos del proceso de desarrollo del proyecto: inicio del proyecto, planificación, diseño, y construcción y operación.

Herramientas normativas para abordar la asequibilidad

Las tarifas constituyen el mayor costo monetario directo para los pasajeros que utilizan cualquier sistema de transporte público urbano de alta capacidad. Por ende, deben analizarse detenidamente la política y las estructuras tarifarias en relación con la asequibilidad de cualquier sistema de transporte público (nuevo o existente). En primer lugar, deben considerarse la reducción de los costos de operación y, en consecuencia, las tarifas necesarias para recuperarlos (Gomide, Leite y Rebelo, 2004). Si bien esto puede mejorar el bienestar general de los usuarios del sistema de transporte público de alta capacidad, la mejora de la asequibilidad que conlleva una reducción tarifaria a nivel de todo el sistema no está orientada directamente a las personas que más la necesitan. Asimismo, si el Gobierno no compensa la pérdida de ingresos tarifarios, las reducciones a nivel del sistema pueden poner en riesgo la sostenibilidad financiera del operador del

CUADRO 2.6. Análisis de la asequibilidad a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto

ETAPA DE DESARROLLO DEL PROYECTO	TAREA	HERRAMIENTAS Y FUENTES DE DATOS
Inicio e idea del proyecto	• Analizar la carga que representa el transporte público en los ingresos de grupos de población específicos • Trazar qué distancia es posible viajar con un presupuesto fijo para acceder a empleos y servicios básicos	• Encuestas de hogares y de origen-destino, datos administrativos y de ingresos del transporte público, datos sobre tarjetas inteligentes o alta frecuencia (si estuvieran disponibles) como parte de un análisis de los efectos en la pobreza y en la situación social (AEPSS)
Planning	• Realizar un estudio exhaustivo sobre tarifas, externalidades que afectan al sistema en su conjunto y sus costos, y la distribución de la carga o los beneficios para los diferentes grupos sociales • Definir subsidios óptimos al transporte	• Índice de asequibilidad tarifaria; encuestas de hogares; encuestas administrativas, y datos de programas sociales y mecanismos nacionales de focalización existentes
	• Identificar puntos de acceso existentes para subsidios debidamente focalizados	• Registros de protección social, buenas prácticas aplicadas en otros sistemas de transporte público de alta capacidad en ciudades similares
Diseño	• Garantizar la integración tarifaria entre modos y aplicar subsidios específicos (geográficos, categóricos o de comprobación indirecta), cuando corresponda	• Tarjetas inteligentes, teléfonos móviles, sistemas nacionales de focalización (comprobación indirecta)
Construcción y operación	• Implementar políticas para orientar los subsidios a los usuarios de ingreso bajo y minimizar las pérdidas de ingresos	• Aplicación de leyes y tecnologías para desalentar la evasión y el fraude en el pago de las tarifas

sistema (véase el capítulo 13). Otros recursos de la política tarifaria del sistema de transporte público urbano pueden resultar más útiles para los responsables de formular políticas que prefieran un tratamiento de la dimensión de la asequibilidad que tenga en cuenta los efectos distributivos.

Los responsables de políticas y los encargados de la ejecución del proyecto deben estudiar los impactos de los cambios estructurales en los tipos y niveles de tarifas, la integración tarifaria y la concesión de beneficios directos, como la distribución de vales y pases. Al viajar distancias más largas, los usuarios de ingreso bajo a menudo se ven obligados a hacer uno o más

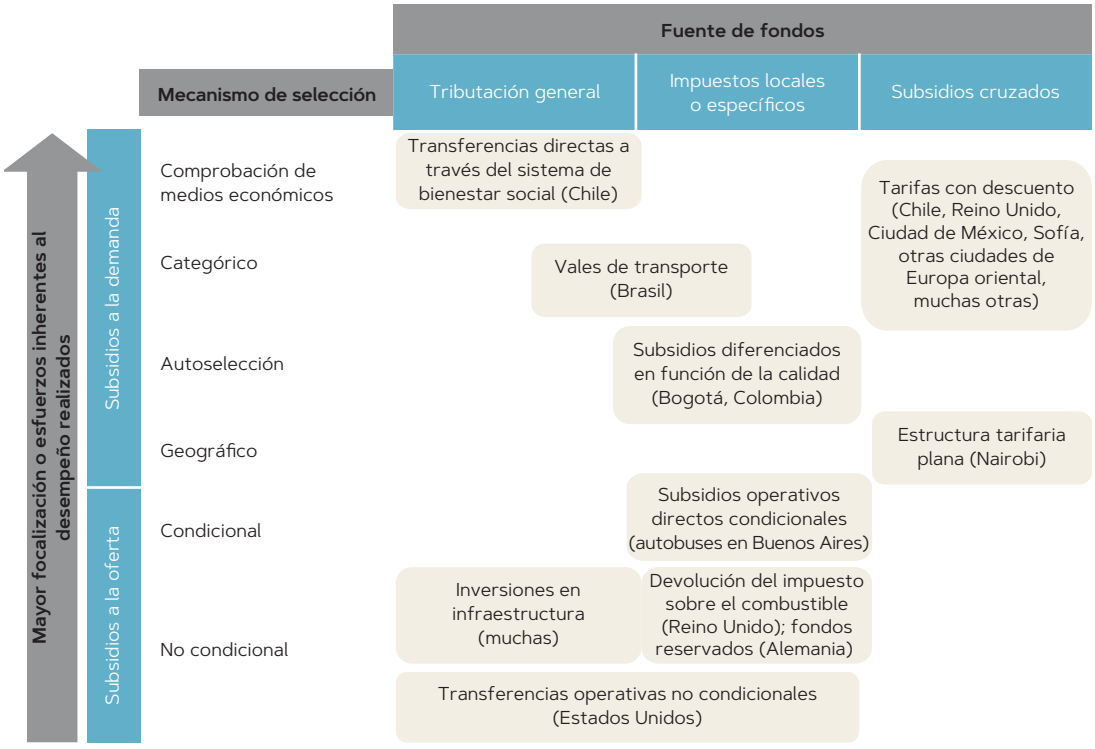
trasbordos para llegar a destino; la falta de un sistema tarifario integrado puede afectar de manera desproporcionada a los usuarios de menores ingresos y a las mujeres, e imponer un costo financiero adicional sobre la inconveniencia de sus trasbordos. El quintil inferior de la distribución de ingresos incluye una alta proporción de adultos que trabajan y, por lo tanto, no reúnen los requisitos para la concesión de tarifas con descuento destinadas a niños, estudiantes y personas mayores (Carruthers, Dick y Saurkar, 2005). Por ende, es aconsejable que las autoridades gubernamentales que supervisan los sistemas de transporte público de alta capacidad consideren otras formas de subsidios específicos (subsidios a la demanda) que puedan abordar más eficazmente las necesidades de los usuarios de ingreso bajo, incluidos boletos y descuentos basados en el nivel de ingreso o descuentos especiales para personas que viajan para buscar trabajo (Rodríguez y otros, 2015) (véanse el gráfico 2.2 y el recuadro 2.4). Pese a que es posible que no estén perfectamente orientados, que distorsionen los incentivos para zonas residenciales y que sean inferiores a las transferencias directas de ingresos, los descuentos específicos para el transporte público pueden ser la red de seguridad más práctica para los trabajadores de ingreso bajo (Gwilliam, 2002) (véase el recuadro 2.4).

Los subsidios directos modernos para usuarios de ingreso bajo pueden contribuir a garantizar el acceso de los segmentos más desfavorecidos de la sociedad a los servicios y las oportunidades laborales que ayudarán a combatir la pobreza (Gomide, Leite y Rebelo, 2004). Todas estas intervenciones en materia de política tarifaria pueden implementarse con mayor facilidad con la existencia de sistemas de boletería con tarjetas inteligentes.

Si bien la escala y el alcance finales de un programa de subsidios a la demanda de transporte destinado a los grupos de menores ingresos pueden ser una decisión política basada en la situación financiera y demás objetivos de una ciudad, existen ciertas herramientas e índices que pueden ayudar a estructurar el debate en torno a quiénes deben recibir ayuda financiera y en qué cantidades. Un ejemplo de esto es el uso de un índice de asequibilidad tarifaria u otra medida derivada de la curva de distribución relativa de beneficios de Lorenz para cuantificar el impacto de un paquete estándar de viajes en transporte público por mes para cada miembro del hogar en función de sus características y patrones de viaje individuales. Si bien se trata de un enfoque útil, no existe una manera normativa aceptada de determinar qué proporción de los ingresos destinada al transporte podría considerarse inasequible para una familia. La asequibilidad dependerá de las alternativas (qué tan práctico resulta trasladarse a pie y en bicicleta como alternativa al transporte público) y de los demás costos de vida, incluida la vivienda (Mehndiratta, Rodríguez y Ochoa, 2014).

Desde una perspectiva de bienestar económico, las políticas orientadas a aumentar la asequibilidad del transporte público, incluidas las tarifas integradas y los subsidios específicos, conllevan resultados positivos en términos distributivos, si se establecen a tasas asequibles. Un sistema de boletería electrónico y tarifas integradas pueden tener impactos positivos inmediatos en la calidad de vida y las condiciones de viaje de la población de ingreso bajo, y es necesario llevar a cabo regularmente un estudio detallado de los costos y beneficios de otros aspectos de la política tarifaria durante la operación de cualquier sistema de transporte público.

GRÁFICO 2.2. Tipología de los subsidios, por mecanismo de selección y fuente de financiamiento



Fuente: Adaptado de Serebrisky y otros, 2009.

RECUADRO 2.4.

Subsidios específicos a las tarifas de transporte público para trabajadores y personas que buscan empleo

Vale-Transporte: Brasil

El Gobierno de Brasil introdujo el sistema de vales de transporte en 1985 para garantizar la movilidad de los trabajadores (formales) de ingreso bajo. Este sistema de vales es un mecanismo de subsidio a la demanda a través del cual los empleadores retienen el 6 % de los ingresos de los trabajadores formales. A cambio, los trabajadores reciben vales de transporte para cubrir los costos de traslado en transporte público. Con el sistema de vales, se anticipa mensualmente el pago del costo de los viajes de ida y vuelta del hogar al trabajo para los trabajadores que reúnen los requisitos. La ayuda debe ser pagada por el empleador y se calcula en función de la tarifa total del servicio de transporte—transporte público urbano, interurbano o interestatal—que mejor se adapte a la necesidad del empleado. El vale de transporte no es parte del salario o la remuneración del trabajador, ni tampoco de ninguna contribución a la seguridad social.

Una de las características del Vale-Transporte que más llama la atención es que ofrece un interesante, y probablemente eficaz, mecanismo de focalización basado en la autoselección. Los trabajadores pueden optar por no participar en el sistema, y aquellos que más ganan tienen el incentivo para hacerlo porque el 6 % de su salario generalmente será un monto mayor que el que destinan a viajar (Serebrisky y otros, 2009). En 2006, el 50 % de los pasajeros que utilizan el transporte público en Brasil usaron los vales, incluidos quienes trabajaban en agencias de empleo temporal y las empleadas domésticas. Los proveedores de servicios a domicilio, empleados de subcontratistas y funcionarios públicos también reúnen los requisitos para acceder al beneficio (Gobierno de Brasil, 2009). A través de la legislación, el transporte público se torna más asequible y se alienta a los empleados a utilizarlo en lugar de sus vehículos particulares, lo que permite reducir la congestión de tráfico, las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo energético.

Subsidios específicos para jóvenes desempleados de ingreso bajo: Johannesburgo, Sudáfrica

En Johannesburgo, Sudáfrica, los jóvenes desempleados deben afrontar elevados costos de transporte para buscar trabajo (hasta un 25 % de los ingresos correspondientes al salario mínimo por semana). Para comprender el efecto de los subsidios específicos en los resultados en términos de empleo, se implementó una intervención normativa de 2013 a 2014 en el marco de la cual se brindaban diferentes tipos de subsidios (condicionales o no condicionales) a los jóvenes desempleados de ingreso bajo.

Subsidios específicos para personas de ingreso bajo que buscan empleo: Washington, DC

En el marco de un experimento piloto en Washington, DC, se analizó el impacto de los subsidios al transporte público asignados aleatoriamente entre las personas de ingreso bajo en busca de empleo que son usuarios cautivos del transporte público (no cuentan con ningún modo de transporte alternativo). Los resultados indican que los beneficiarios del subsidio solicitan empleo y participan en entrevistas de trabajo, en promedio, un 19 % más que personas en condiciones

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 2.4.

Subsidios específicos a las tarifas de transporte público para trabajadores y personas que buscan empleo *(continuación)*

comparables que solo reciben una asistencia estándar para buscar empleo, y que los subsidios benefician en mayor medida a quienes residen en lugares alejados de los puestos de trabajo vacantes (Phillips, 2011). Esto sugiere que el transporte público subsidiado puede estimular el empleo en mayor medida que otras formas de asistencia gubernamental al permitir a los trabajadores de ingreso bajo, que generalmente viven en zonas distantes de los empleos disponibles, utilizar con mayor frecuencia el sistema ferroviario urbano de la ciudad y, por consiguiente, realizar una búsqueda de empleo más intensiva.

Límite de gasto diario: Sídney, Australia

En Sídney, Australia, las personas que buscan empleo y las personas desempleadas pueden solicitar una tarjeta de acceso a descuentos. Con esta tarjeta, los beneficiarios pagan tarifas con descuentos en trenes, autobuses, ferris y metro ligero con un límite de gasto diario de USD 7,50.

Aceptabilidad

La aceptabilidad está relacionada con la calidad de la experiencia del usuario, incluidos los aspectos de seguridad, comodidad y fiabilidad de los servicios. Cuando un proyecto de transporte público de alta capacidad está correctamente diseñado, se eliminan las barreras para los usuarios potenciales y se brinda un servicio de buena calidad a los pasajeros.

En muchos países de ingreso bajo y medio, la mala calidad de los servicios de transporte público puede ser el resultado de normativas insuficientes o inexistentes, de la competencia incontrolada entre proveedores de servicios y de modelos de negocios inadecuados en general. En estos casos, el desarrollo del transporte público urbano de alta capacidad puede ser concebido como un catalizador para reformas sectoriales tendientes a eliminar barreras contra servicios más seguros y más inclusivos. La incorporación del transporte público de alta capacidad en un corredor principal puede reducir las tasas de accidentes de tránsito o el número de heridos y muertos si se cuenta con vehículos con un buen estado de mantenimiento que funcionen en plataformas segregadas con puntos de acceso protegidos. Los proyectos de transporte público de alta capacidad generalmente redundan en una mejora no solo de las condiciones de viaje,

sino también de la seguridad vial y personal dentro de las estaciones y en sus inmediaciones, a través de lo cual se fomenta la inclusión social y se mejora la calidad de vida en los barrios afectados. Como las poblaciones de ingreso bajo son más propensas a ser usuarios cautivos del transporte público, tienen mayores probabilidades de beneficiarse de manera desproporcionada de las mejoras en la calidad del servicio que traen aparejadas las inversiones en transporte público de alta capacidad.

Cómo abordar la aceptabilidad durante la planificación y el diseño del proyecto

Si bien el seguimiento de la aceptabilidad de los servicios generalmente se realiza durante la operación, también debe tenerse en cuenta en el proceso de desarrollo del proyecto. La planificación y el diseño de los sistemas de transporte público de alta capacidad pueden tener una influencia significativa en la accesibilidad universal, las comodidades y la seguridad de las estaciones, y otros atributos que mejoran la comodidad del pasajero y la calidad del servicio. Por consiguiente, al planificar y diseñar sistemas de transporte público de alta capacidad, los responsables de formular políticas deben considerar la implementación de medidas complementarias que permitan mejorar su aceptabilidad entre todos los usuarios, en especial los grupos más desfavorecidos. A continuación se enumeran algunas de las medidas más eficaces para mejorar la aceptabilidad para los usuarios:

- incorporar las necesidades de los diferentes usuarios a sistemas de transporte inteligentes, lo que incluye ofrecer diferentes productos tarifarios que puedan ser utilizados por personas que no están bancarizadas o que no tienen acceso a teléfonos móviles y aumentar la señal de las tarjetas inteligentes sin contacto para las mujeres que llevan bolsos (Yang, 2017);
- proporcionar cruces seguros y accesibles para peatones y ciclistas y otras comodidades urbanas en torno a las zonas de las estaciones (véase el capítulo 16);
- ampliar las características de accesibilidad universal para los usuarios con discapacidades visuales, auditivas y de movilidad (ascensores, rampas, barandas, carteles con letra grande y táctiles, sistemas de información audiovisual en tiempo real, máquinas expendedoras accesibles y asientos reservados para las personas mayores, las mujeres embarazadas y las personas con otras necesidades especiales);

- garantizar la comodidad de los pasajeros en estaciones y vehículos, incluidos los niveles de ocupación máximos (según la capacidad de diseño del sistema y la infraestructura);
- favorecer la orientación espacial, lo que incluye carteles fáciles de entender y otro tipo de información para los usuarios.

Cómo abordar la aceptabilidad durante la operación

Las encuestas de satisfacción del usuario son una herramienta que se utiliza regularmente para hacer un seguimiento de la aceptabilidad del servicio de transporte público urbano de alta capacidad una vez que el sistema se encuentra en funcionamiento. Estas encuestas, junto con datos de operación, definen el nivel de satisfacción en los distintos segmentos de usuarios (usuarios principales y desfavorecidos) y también sus necesidades y expectativas. Para diferenciar las percepciones de los usuarios por ingresos u otro atributo observable, en la encuesta puede recopilarse información demográfica y socioeconómica básica de los pasajeros. En el cuadro 2.7, se enumeran ejemplos de indicadores utilizados para medir y hacer un seguimiento de la aceptabilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad. Para cada una de estas medidas, si hay disponibles datos desglosados, se recomienda segmentar la población por ingresos, género y otras características sociodemográficas, para analizar si ciertos grupos afrontan una carga mayor que otros.

Una vez diseñado y construido el proyecto, la planificación operativa del sistema es la herramienta más esencial para mejorar la aceptabilidad del transporte público de alta capacidad (véase el capítulo 13). Entre las medidas que deben considerarse durante la operación del sistema, se incluyen las siguientes:

- prestar un servicio fiable, lo que incluye el cumplimiento de horarios, el desempeño real en términos de puntualidad, información en tiempo real brindada a los usuarios sobre llegadas y salidas, y tiempo o distancia promedio entre incidentes o fallas;
- garantizar la seguridad vial y personal de los pasajeros, lo que incluye realizar un seguimiento proactivo de las inquietudes de los pasajeros de toda la red y darles respuesta, por ejemplo, a través de programas para combatir la violencia de género y el acoso por medio de la capacitación del personal, la implementación de protocolos y la realización de campañas públicas.

CUADRO 2.7. Ejemplos de indicadores utilizados para evaluar la aceptabilidad de los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad

INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE ANÁLISIS	REQUERIMIENTOS Y FUENTES DE DATOS
Satisfacción de los pasajeros con servicios seguros, fiables y de calidad, desglosada por grupo de usuarios	Nivel de satisfacción autoevaluado	Viajes por persona	Encuestas de satisfacción de usuarios viales, encuestas de origen-destino, análisis semántico de redes sociales
Nivel de ocupación en vehículos y en los andenes de las estaciones	Cantidad de pasajeros por metro cuadrado	Vehículos o andenes de las estaciones	Tarjeta de viaje y otros datos de operación, capacidades de vehículos y andenes de las estaciones; peso de los vehículos
Número de delitos o incidentes informados (por ruta, hora del día)	Infracciones o incidentes informados	Sistema	Informes policiales o de otro tipo, desglosados por género y otras características de los usuarios
Proporción de estaciones o paradas con asientos, refugios, iluminación adecuada, cámaras de televisión por circuito cerrado y otros servicios	Porcentaje de estaciones	Sistema	Datos administrativos
Reducción del número de lesiones y muertes viales en los corredores del proyecto	Porcentaje o número de lesiones o muertes por cada 1000 personas	Persona	Encuestas de tránsito, informes policiales, informes de hospitales
Proporción de estaciones con características de diseño universal	Porcentaje de estaciones[a]	Sistema	Datos administrativos
Número de beneficiarios directos del proyecto que son mujeres, tienen un bajo nivel de ingreso o son usuarios que poseen otras características	Número de beneficiarios con determinadas características	Persona	Encuestas de tránsito, datos de censos, datos de sistemas de información geográfica

a. Este indicador se aplica mayormente a sistemas existentes que aún tienen que modernizar todas sus instalaciones. Los sistemas nuevos deberían diseñarse y construirse de forma tal que todas las estaciones tengan características de acceso universal.

Posibles efectos imprevistos del desarrollo de proyectos de transporte público de alta capacidad

Pese a los notables impactos positivos que los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad pueden tener en las ciudades y sus habitantes, estos proyectos también pueden traer consigo consecuencias no deseadas que pueden impulsar la oposición a un proyecto. Al margen de la viabilidad económica y financiera de un proyecto de transporte público de alta capacidad (véase el capítulo 3), los responsables de la toma de decisiones y los organismos de ejecución igualmente deben considerar, desde un primer momento, otros posibles impactos a partir de un minucioso análisis de las partes interesadas (capítulo 14). Reflexionar sobre las siguientes cuestiones en las primeras etapas del proyecto brinda la oportunidad de hallar soluciones relativas a la planificación, el diseño, la construcción y la operación que pueden atenuar las consecuencias negativas, especialmente para los grupos más desfavorecidos:

- *Gentrificación y desplazamiento de barrios.* Los proyectos de transporte público de alta capacidad a menudo hacen necesario un nivel considerable de expropiación de suelo y reasentamientos involuntarios. Los sistemas de transporte que mejoran la accesibilidad también pueden precipitar un aumento de los precios del suelo, lo cual, si bien es beneficioso para los propietarios, también puede redundar en un aumento de las cargas impositivas. El incremento de los precios del suelo y los nuevos desarrollos también pueden traer aparejados aumentos en los alquileres para los residentes de menores ingresos de estos barrios (Banco Mundial, 2015a, 27). Para mitigar los impactos sociales negativos a corto y a largo plazo, es necesario que la planificación del transporte se complemente con una planificación del uso del suelo y con políticas de vivienda social adecuadas que respalden la disponibilidad de unidades asequibles para los residentes actuales (véase el capítulo 16).
- *Conectividad del último tramo.* Los sistemas de transporte público de alta capacidad necesitan estar debidamente conectados (en términos físicos, de operaciones y tarifarios) con otros modos de transporte urbano, en particular con los recorridos de autobuses alimentadores y modos de transporte no motorizado, para poder garantizar una conectividad desde el primero hasta el último tramo. En la mayoría de los casos, esto requiere la reorganización de los servicios de autobuses existentes y la armonización de las tecnologías para el cobro de tarifas, la información al usuario y las prácticas de gestión de operaciones. Para evitar la competencia y ofrecer servicios ininterrumpidos a los usuarios son necesarias una planificación cuidadosa y las negociaciones correspondientes con los operadores de autobuses tanto privados como públicos.

- *Operadores informales de transporte público.* En las ciudades de muchos países de ingreso bajo y medio, una parte importante de los viajes está en manos de operadores informales, como pequeñas empresas privadas con vehículos de diferentes dimensiones, desde furgonetas hasta autobuses. Muchas veces, estos servicios están precariamente organizados y son de mala calidad debido a la intensa competencia en las calles y a la falta de inversiones en activos. Sin embargo, a menudo ofrecen una opción viable para los usuarios en entornos de menor densidad y en otras zonas con acceso insuficiente a los servicios de transporte público formales. Al introducir un nuevo sistema de transporte público de alta capacidad, se les aconseja a los responsables de la planificación que, en lugar de prohibir o competir con esos servicios, analicen posibles formas de cooperar con los operadores informales y de incorporarlos a una red integrada de transporte público. Una estrategia polifacética puede ayudar a los operadores con mayor capacidad a cumplir con los requisitos básicos para licitar nuevas rutas para autobuses alimentadores o permitir zonas de servicio complementarias; mejorar sus operaciones con mejor información para los usuarios, mejores prácticas de gestión y mejor acceso al financiamiento, y quizás ofrecer compensación a aquellos operadores que ya no puedan seguir funcionando en el nuevo sistema (véase el capítulo 14).

Al analizarse las inversiones en infraestructura de transporte público urbano de alta capacidad, deben contemplarse las políticas complementarias y las medidas regulatorias que se necesitan para mitigar los efectos no deseados. Para el caso particular de los sistemas ferroviarios urbanos, en los capítulos 14 y 15 de este manual se analizan los impactos sociales y ambientales y se incluyen recomendaciones para su identificación, gestión y mitigación. En el capítulo 16 se analizan las políticas de vivienda, uso del suelo y desarrollo orientado al transporte público (DOT), y su relación con los ferrocarriles urbanos.

Cómo garantizar que los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad funcionen para todos

Los datos y las herramientas analíticas para cada una de las cuatro "A" pueden servir como un respaldo importante para los responsables de la toma de decisiones de los órganos gubernamentales que desean maximizar los beneficios de sus sistemas de transporte urbano y garantizar su distribución inclusiva. Cada una de las cuatro "A" debe ser considerada desde el inicio mismo de la planificación de la movilidad urbana y el uso del suelo

para la región metropolitana y debe formar parte de un análisis multicriterio de las alternativas de transporte público de alta capacidad (véase el capítulo 3).

Al invertir en nueva infraestructura de transporte público de alta capacidad, la aplicación específica de estas herramientas irá evolucionando a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto, pero las herramientas son más ventajosas cuando se aplican de manera anticipada. En el cuadro 2.8, se resumen algunos consejos generales para cada paso del proceso de desarrollo del proyecto que los responsables de la toma de decisiones y los organismos de ejecución del proyecto deben tener en cuenta.

CUADRO 2.8. Consideraciones para la ejecución de proyectos de transporte público urbano de alta capacidad inclusivos a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto

PASOS DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO	TAREA	HERRAMIENTAS Y FUENTES DE DATOS
Inicio o idea del proyecto	• Localizar geográficamente dentro de la ciudad las oportunidades económicas disponibles y los grupos desfavorecidos como parte de un análisis de los efectos en la pobreza y en la situación social (AEPSS)	• Fuentes secundarias para analizar el mercado laboral y los servicios en las zonas metropolitanas y para identificar limitaciones de conectividad, en especial en zonas de ingreso bajo
Planning	• Evaluar alternativas de trazado y ubicaciones de las estaciones como parte de un análisis multicriterio, incluidos indicadores de disponibilidad y accesibilidad de las poblaciones desfavorecidas	• Mapas de isocronas e indicadores de accesibilidad elaborados a partir de bases de datos con referencias geográficas de las poblaciones por grupo de ingresos procedentes de datos censales o de hogares, empleos (formales e informales) y servicios públicos
	• Identificar los patrones de movilidad de los diferentes segmentos de ingresos y grupos de usuarios potenciales	• Encuestas de origen-destino, métodos cualitativos
	• Introducir mecanismos de planificación participativa	• Consultas con los grupos de usuarios potenciales (participación ciudadana)

(Cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 2.8. Consideraciones para la ejecución de proyectos de transporte público urbano de alta capacidad inclusivos a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto *(Continuación)*

PASOS DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO	TAREA	HERRAMIENTAS Y FUENTES DE DATOS
Diseño	• Considerar políticas complementarias para mitigar los efectos imprevistos en las poblaciones desfavorecidas, como vivienda asequible, planificación del uso del suelo, DOT, políticas de integración tarifaria y subsidios a la demanda	• Grupos de discusión y consultas con partes interesadas y beneficiarios locales, herramientas de planificación del uso del suelo, análisis de asequibilidad
	• Estudiar la integración física, de operación y tarifaria del proyecto de transporte público de alta capacidad con modos complementarios	• Diseños optimizados para minimizar los obstáculos físicos; política de integración tarifaria; planes de servicios de operación e intervenciones complementarias
Construcción y operación	• Realizar el seguimiento y la evaluación de los impactos del proyecto por región geográfica y grupo sociodemográfico (por ejemplo, ingresos, participación en la fuerza laboral, valores del suelo)	• Encuestas a los usuarios y estudio de evaluación del impacto *ex post*

Conclusiones y recomendaciones

El transporte público es el modo de transporte más importante de muchas zonas urbanas de todo el mundo. Los sistemas de transporte público de alta capacidad con plataforma segregada desempeñan un papel fundamental en la promoción de la inclusión social y la calidad de vida para todos como parte de una red más amplia de transporte público multimodal jerárquicamente integrada. En esta sección final, se sintetizan algunas de las recomendaciones más importantes de este capítulo sobre cómo asegurar que los proyectos de transporte público urbano de alta capacidad mejoren efectivamente las oportunidades y fomenten la prosperidad para todos.

Las inversiones en transporte público de alta capacidad —incluidos los ferrocarriles urbanos— son oportunidades importantes para configurar el desarrollo económico de una manera socialmente inclusiva. Esto sucede principalmente en las ciudades donde las grandes poblaciones y los grupos

más desfavorecidos dependen de los servicios de transporte público para llevar a cabo sus actividades económicas y sociales. Si se consideran detenidamente los impactos distribuidos a lo largo de todo el proceso de planificación, diseño y ejecución, las inversiones en transporte público de alta capacidad pueden ser un catalizador para el desarrollo socioeconómico, el alivio de la pobreza y la prosperidad compartida. Estos beneficios son posibles debido a la gran magnitud de la inversión, la mayor capacidad de carga y la calidad del servicio que suponen las plataformas segregadas, y la duración de los activos. Una línea de transporte público de alta capacidad, como el eje de alta capacidad y alta calidad de un sistema integrado de transporte público, debe planificarse, diseñarse, implementarse y operarse con el objetivo de prestar servicios a la mayor cantidad de personas posible y, al mismo tiempo, se deben tener en cuenta las necesidades únicas de los diferentes tipos de usuarios y los impactos distribuidos.

Deben considerarse las cuatro "A" desde el inicio (durante la planificación del sistema y los corredores) y a lo largo de todo el desarrollo del proyecto a fin de mejorar su impacto socioeconómico. Deben utilizarse indicadores de amplia disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad de un sistema de transporte público urbano de alta capacidad para evaluar el impacto de las alternativas del proyecto en los diferentes grupos sociodemográficos y zonas espaciales de la ciudad. Junto con el AEPSS, es necesario incorporar esta evaluación en el proceso de planificación y diseño del proyecto. A lo largo de este capítulo, se han descrito las opciones normativas, las herramientas analíticas y otras consideraciones tendientes a mejorar las cuatro "A" para todos los usuarios potenciales. Entre las políticas más importantes para mejorar la inclusión social se encuentran la integración física, de operaciones y tarifaria (con subsidios debidamente focalizados) del proyecto de transporte público de alta capacidad con el sistema de transporte en general.

Los proyectos de transporte público de alta capacidad también deben complementarse con otras medidas normativas y de desarrollo a fin de mitigar sus impactos negativos. La incorporación de inversiones en transporte público de alta capacidad a menudo supone una reestructuración considerable de los patrones de viaje, lo cual puede traer aparejadas consecuencias no deseadas en los barrios y servicios existentes. Estos efectos pueden mitigarse por medio de medidas complementarias, como vivienda asequible, políticas de uso del suelo, DOT, e incorporación de operadores de autobuses locales e informales y otros operadores de servicios de transporte al sistema de transporte público.

Notas

Los autores desean agradecer a Ramiro Alberto Ríos, Steven Farji y Karla Domínguez González, del Banco Mundial, por sus aportes de contenido, y también a los revisores Javier Morales Sarriera, Daniel Pulido, Ramón Muñoz-Raskin, Martha Lawrence, Arturo Ardila-Gómez y Kavita Sethi, del Banco Mundial, Yves Amsler y Dionisio González, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), Darío Hidalgo, del Instituto de Recursos Mundiales (WRI), y Gerhard Menckhoff, del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), por compartir su experiencia y sus consideradas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. Véase, por ejemplo, la campaña ¡Hazme el Paro!, en la Ciudad de México.
2. Para leer un análisis sobre la diferencia entre accesibilidad regional, accesibilidad local y accesibilidad universal, y conocer pautas sobre cómo maximizar los beneficios de las tres en el contexto del desarrollo de los ferrocarriles urbanos y su impacto en la forma urbana, véase el capítulo 16.
3. Estas herramientas se encuentran disponibles sin cargo.
4. En este capítulo, la asequibilidad del sistema de transporte público urbano de alta capacidad se considera desde la perspectiva del usuario. Una perspectiva diferente, aunque no por ello menos importante, de la asequibilidad consiste en determinar si la inversión inicial del sistema es asequible para una ciudad o un país en vista de sus limitaciones fiscales y en materia de recursos (véase el capítulo 3) y si la operación a largo plazo del sistema es o no sostenible desde el punto de vista financiero en virtud de los ingresos (tarifas) y los costos de operación (como el mantenimiento y las renovaciones de capital) (véase el capítulo 13).

Bibliografía

Aworemi, Joshua Remi, A. O. Salami, Jonathan Oyerinde Adewoye y M. O. Ilori (2008), "Impact of Socio Economic Characteristics on Formal and Informal Public Transport Demands in Kwara State, Nigeria", *African Journal of Business Management* 2 (4), pp. 72-76.

Babinard, Julie, Wei Wang, Christopher R. Bennett y Shomik Mehndiratta (2012), *Accessibility of Urban Transport for People with Disabilities and Limited Mobility: Lessons from East Asia and the Pacific*, nota sobre el transporte TRN 44, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/932371468234283368/pdf/779690BRI0Box30C00TRN0440ADD0VC0KNS.pdf

Carruthers, Robin C., Malise C. Dick y Anuja Saurkar (2005), *Affordability of Public Transport in Developing Countries*, documentos sobre transporte, TP-3, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/230991468153275100/Affordability-of-public-transport-in-developing-countries.

Departamento de Economía, Transporte y Regiones (DETR) (2000), *Social Exclusion and the Provision and Availability of Public Transport*, Londres: DETR.

Gómez-Lobo Echenique, Andrés (2007), "Affordability of Public Transport: A Methodological Clarification", en *Journal of Transport Economics and Policy* 45 (3), pp. 437–56, http://www.econ.uchile.cl/uploads/publicacion/db395ea5-f323-448c-b00a-935049986dcb.pdf.

Gomide, Alexandre, Sabina Leite y Jorge Rebelo (2004), *Public Transport and Urban Poverty: A Synthetic Index of Adequate Service*. Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/804921467998799407/Main-report.

Gobierno de Brasil (2009), "Vale-transporte", Economia e Emprego, 31 de octubre.

Gwilliam, Kenneth M. (2002), *Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review*, Washington, DC: Banco Mundial, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/928301468762905413/cities-on-the-move-a-world-bank-urban-transport-strategy-review.

Organismo Japonés de Cooperación Internacional (JICA) y Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) (2004), *Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú*, Lima: MTC; Tokio: JICA.

Komives, Kristin, Vivien Foster, Jonathan Halpern, Quentin Wodon y Roohi Abdullah (2005), "Water, Electricity, and the Poor: Who Benefits from Utility Subsidies?", en *Tendencias del desarrollo*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/606521468136796984/Water-electricity-and-the-poor-who-benefits-from-utility-subsidies.

Marks, Michael (2016), *People Near Transit: Improving Accessibility and Rapid Transit Coverage in Large Cities*, Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), Nueva York, https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2016/10/People-Near-Transit.pdf.

Mehndiratta, Shomik Raj, Camilla Rodríguez y Catalina Ochoa (2014), *Targeted Subsidies in Public Transport: Combining Affordability with Financial Sustainability*. Washington, DC: Banco Mundial, https://www.semanticscholar.org/paper/Targeted-Subsidies-in-Public-Transport-%3A-Combining/ec05d4b76f2894dec7ba5435eb840b750028ef90

Mehndiratta, Shomik Raj y Tatiana Peralta-Quirós (2015), "How Does This Investment Help Accessibility for This Metropolitan Area's 40 Percent?", Transport for Development (blog), Banco Mundial, Washington, DC, http://blogs.worldbank.org/transport/how-does-investment-help-accessibility-metropolitan-area-s-poorest-40-percent.

Meloni, Italo, Massimiliano Bez y Erika Spissu (2009), "Activity-Based Model of Women's Activity-Travel Patterns", en *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2125, pp. 26-35.

Phillips, David C. (2011), "Getting to Work: Experimental Evidence on Job Search and Transportation Costs", en *Labour Economics* 29 (agosto), pp. 72-82.

Rodríguez, Camila, Juan Miguel Gallego, Daniel Martínez, Sergio Montoya y Tatiana Peralta-Quirós (2015), "Examining the Implementation and Labor Market Outcomes of Targeted Transit Subsidies: SISBEN Subsidy for Bogota's Urban Poor", en *Transportation Research Record* 2581, Banco Mundial, Washington, DC, http://pubdocs.worldbank.org/en/865911454354497451/20160112-TRB-Bogota-Pro-Poor-Targeted-Subsidy-FINAL-for-Publication-00000003.pdf.

Salat, Serge y Gerald Ollivier (2017), *Transforming the Urban Space through Transit-Oriented Development: The 3V Approach*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26405.

Serebrisky, Tomás, Andrés Gómez-Lobo, Nicolás Estupiñan y Ramón Muñoz-Raskin (2009), "Affordability and Subsidies in Public Urban Transport: What Do We Mean, What Can Be Done?", en *Transport Reviews* 29 (6), pp. 715-39.

SuM4All (Movilidad Sostenible para Todos) (2017), *Global Mobility Report 2017: Tracking Sector Performance*, Washington, DC: SuM4All, https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/28542/120500.pdf?sequence=5.

Syed, Samina T., Ben S. Gerber y Lisa K. Sharp (2013), "Traveling towards Disease: Transportation Barriers to Health Care Access", en *Journal of Community Health* 38 (5), pp. 976-93, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4265215/.

Uteng, Tanu Priya (2011), "Gender and Mobility in the Developing World", *Informe sobre el desarrollo mundial 2012: Igualdad de género y desarrollo*, documento de antecedentes, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/9111/WDR2012-0010.pdf?sequence=1.

Vasconcellos, Eduardo A. (2001), *Urban Transport, Environment, and Equity: The Case for Developing Countries*, Londres: Rutledge.

Banco Mundial (2003), *A User's Guide to Poverty and Social Impact Analysis*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents1.worldbank.org/curated/en/278581468779694160/pdf/304050ENGLISH01ers0Guide01may020031.pdf

——— (2013), "Project Appraisal Document on a Proposed Loan in the Amount of US$205 Million to the Municipality of the Metropolitan District of Quito with Guarantee of the Republic of Ecuador for a Quito Metro Line One Project", Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/342281468026944926/pdf/768570PAD0EC0R0Box0377365B00PUBLIC0.pdf.

——— (2015a), *A Measured Approach to Ending Poverty and Boosting Shared Prosperity: Concepts, Data, and the Twin Goals*, documento de investigación sobre políticas, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/20384/9781464803611.pdf.

——— (2015b), "Project Appraisal Document on a Proposed Loan in the Amount of US$300 Million to the Republic of Peru for a Lima Metro Line 2 Project", Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/782411468185352074/pdf/PAD1182-REVISED-Box393191B-OUO-9-R2015-0168-2.pdf.

Yang, Yi (2017), "Building Gender Equality into Intelligent Transport Systems in China", East Asia and Pacific Making Development Work for All (blog), Banco Mundial, Washington, DC, http://blogs.worldbank.org/eastasiapacific/building-gender-equality-into-intelligent-transport-systems-in-china.

Zimmerman, Samuel y Ke Fang (2015), "Public Transport Service Optimization and System Integration", China Transport Topics 14, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23489.

Lecturas adicionales

Baker, Judy, Rakhi Basu, Maureen Cropper, Somik Lall y Akie Takeuchi (2005), *Urban Poverty and Transport: The Case of Mumbai*, documento de trabajo de investigación sobre políticas 3693, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/8602.

Bertaud, Alain, Benoit Lefèvre y Belinda Yuen (2011), "GHG Emissions, Urban Mobility, and Morphology: A Hypothesis", en *Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda*, editado por Daniel Hoornweg, Mila Freire, Marcus J. Lee, Perinaz Bhada-Tata y Belinda Yuen, pp. 87-123, Washington, DC: Banco Mundial, https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/9780821384930_CH04.

Blumenberg, Evelyn y Gregory Pierce (2014), "A Driving Factor in Mobility? Transportation's Role in Connecting Subsidized Housing and Employment Outcomes in the Moving to Opportunity (MTO) Program", en *Journal of the American Planning Association* 80 (1), pp. 52-66, http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01944363.2014.935267?scroll=top&needAccess=true.

Fan, Yingling, Andrew Guthrie y David Levinson (2012), "Impact of Light Rail Implementation on Labor Market Accessibility", en *Journal of Transport and Land Use* 5 (3), pp. 28-39, https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/download/240/272.

Glaeser, Edward, Mathew Kahn y Jordan Rappaport (2008), "Why Do the Poor Live in Cities? The Role of Public Transport", en *Journal of Urban Economics* 63 (1), pp. 1-24, https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/2958224/why%20do%20the%20poor%20live%20in%20cities.pdf?sequence=2.

Graham, Daniel J. (2007), "Agglomeration, Productivity, and Transport Investment", en *Journal of Transport Economics and Policy* 41 (3), pp. 317-43, https://www.jstor.org/stable/20054024

Weisbrod, Glen, Derek Cutler y Chandler Duncan (2014), *Economic Impact of Public Transportation Investment*, Asociación Estadounidense de Transporte Público (APTA), Washington, DC, https://www.apta.com/wp-content/uploads/Resources/resources/reportsandpublications/Documents/Economic-Impact-Public-Transportation-Investment-APTA.pdf

3 LA DECISIÓN DE ELABORAR UN PROYECTO FERROVIARIO URBANO

Georges Darido, Joanna Moody y Slobodan Mitrić

Los proyectos de transporte público de alta capacidad, especialmente los de ferrocarriles urbanos, pueden ser una de las mayores inversiones en el transporte que se realicen en una ciudad o región metropolitana. Los ferrocarriles urbanos, como una alternativa de transporte público de alta capacidad, pueden generar importantes beneficios que se extienden más allá del corredor de gran demanda en el que se construye la línea: mejora la accesibilidad y brinda una amplia variedad de beneficios económicos, ambientales y sociales para la región (véase el capítulo 2). Si está bien integrado, el desarrollo de ferrocarriles urbanos puede crear grandes beneficios; sin embargo, demanda desembolsos de capital de inversión grandes y básicamente irrecuperables en activos con una vida útil prolongada de sistemas urbanos complejos, interconectados y variables (Mitrić, 1997). El desarrollo de ferrocarriles urbanos constituye una inversión de alto riesgo y difícil de evaluar. En consecuencia, la decisión de elaborar o no un proyecto ferroviario urbano no es un *tema* menor y debe tomarse solo después de evaluar y comparar los posibles beneficios y costos de las inversiones alternativas a nivel del sistema (red) de transporte y de los corredores.

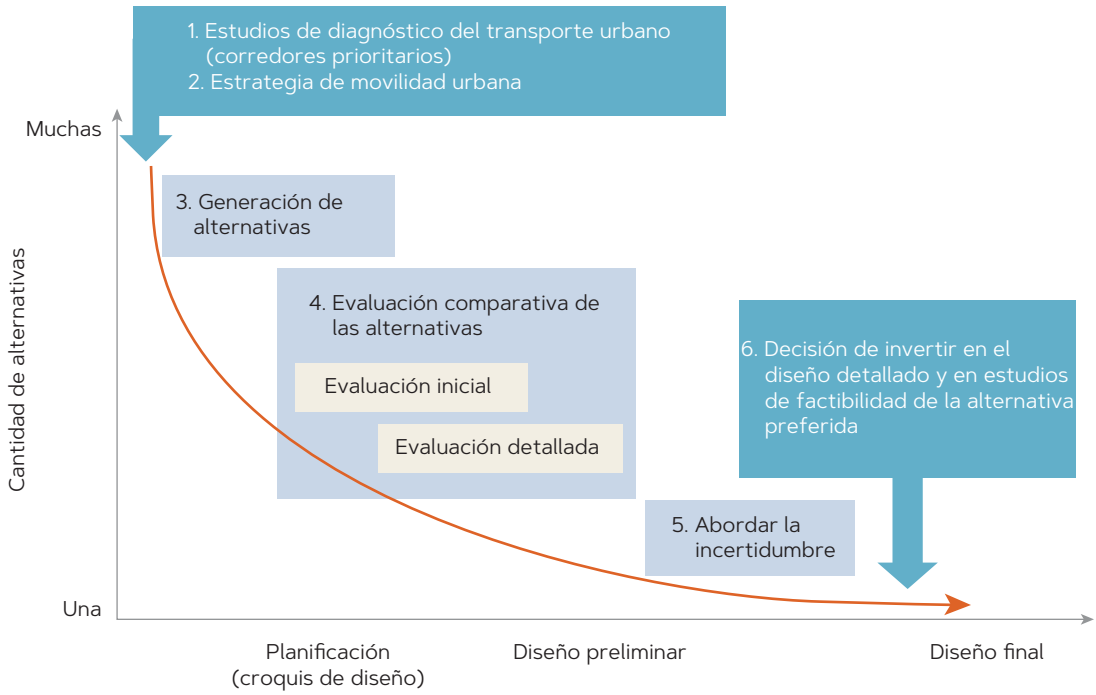
Fotografía: Un autobús transita por debajo del paso elevado del tren de Slussen en Estocolmo, Suecia, 2009.

Aún más importante es realizar un estudio minucioso y tomar decisiones informadas antes de dar lugar a la inversión, teniendo en cuenta el documentado historial de costos superiores a los previstos y déficits de los ingresos provenientes de la operación en los proyectos de transporte urbano de gran escala. En las últimas décadas, los resultados de las evaluaciones *ex post* de megaproyectos de ferrocarriles urbanos y otras modalidades de transporte han diferido considerablemente de los resultados de las estimaciones *ex ante* con respecto a los costos de construcción, la duración del período de construcción y el número de pasajeros (Naess y otros, 2015; Nicolaisen y Driscoll, 2014). En algunos proyectos ferroviarios urbanos, debido a la deficiencia de los estudios de planificación, se ha sobrestimado el número de pasajeros (la demanda) en alrededor del 40 %, lo que suele ir acompañado de costos en promedio un 45 % superiores a los previstos (Flyvbjerg, 2007). Estas previsiones de calidad deficiente se realizan incluso en países de ingreso alto que cuentan con instituciones sólidas, empresas experimentadas, abundantes fuentes de datos, instrumentos de vanguardia, grandes presupuestos para estudios, procesos consolidados de planificación y toma de decisiones, y la participación activa de ciudadanos y grupos de interés que pueden efectuar controles adicionales a los resultados de los estudios de factibilidad de los proyectos (Mitrić, 1998). En los países de ingreso bajo y medio que carecen de datos y de una capacidad técnica, institucional o financiera sólida para realizar estudios de diagnóstico rigurosos y evaluar alternativas de transporte público de alta capacidad como parte de una estrategia de movilidad urbana integrada, los errores de previsión relativos a la demanda y los costos son un problema recurrente (Mitrić, 1998). Estos antecedentes históricos exigen que se actúe con sumo cuidado en lo que respecta a la calidad técnica de las actividades de previsión de las evaluaciones *ex ante* y ponen de manifiesto el papel fundamental que desempeñan los estudios de planificación durante el proceso de toma de decisiones.

Los proyectos ferroviarios urbanos presentan características particulares que hacen que el estudio, la planificación y la toma de decisiones del proyecto sean costosos, técnicamente complejos e insuman mucho tiempo. En este capítulo, se analizan estas cuestiones y se presenta una secuencia de pasos (gráfico 3.1) que servirá de guía a los lectores para realizar un estudio de diagnóstico, evaluar las alternativas de transporte y tomar una decisión informada con respecto a la posibilidad de elaborar y ejecutar un proyecto ferroviario urbano. Este proceso consta de seis pasos:

1. Realizar estudios de diagnóstico desde el punto de vista de la oferta y la demanda de las necesidades de transporte urbano, que incluyan análisis de a) los patrones actuales de uso del suelo y el desarrollo urbano futuro;

GRÁFICO 3.1. Pasos para determinar si se elabora un proyecto ferroviario urbano



b) el origen y el destino de los viajes; c) los patrones de viaje; d) los datos socioeconómicos, y e) la interacción entre la oferta (infraestructura y servicios de transporte disponibles) y la demanda de transporte urbano. Estos análisis culminan en la identificación y priorización de problemas y la selección de objetivos e indicadores clave de desempeño del sistema de transporte urbano.

2. Elaborar una estrategia integrada de uso del suelo y movilidad urbana en la que se identifiquen claramente a) los corredores prioritarios para el desarrollo del transporte público de alta capacidad, y b) los cambios en la gestión del tráfico, las políticas, la normativa y la estructura institucional necesarios para respaldar la infraestructura nueva o mejorada.

3. Generar alternativas de inversión para los corredores prioritarios identificados a fin de resolver o gestionar los problemas de transporte en consonancia con los objetivos seleccionados.

4. Realizar una evaluación comparativa de las alternativas de inversión.

5. Abordar la incertidumbre en la evaluación de las alternativas.
6. Comunicar los resultados a los responsables de la toma de decisiones del proyecto, quienes deciden si avanzan con la alternativa preferida (en el caso de este manual, los ferrocarriles urbanos) de la etapa de planificación a la de diseño.

La aplicación de esta estructura lógica tiene como fin ayudar a las ciudades y a los responsables de la toma de decisiones de proyectos a elaborar los proyectos de forma transparente y objetiva y, al mismo tiempo, ofrecer flexibilidad para adaptar el proceso al contexto local. Sin embargo, hay grandes diferencias entre esta estructura conceptualmente sólida y sus aplicaciones prácticas. Los proyectos de transporte público de alta capacidad, debido a su escala y posible impacto, se planifican y se ejecutan en un entorno social y político en el que la polarización de los intereses de las diversas partes interesadas da lugar a procesos tensos y prolongados de toma de decisiones, lo que generalmente obliga a volver repetidamente de la etapa de toma de decisiones a etapas de planificación anteriores. Esto también implica que el diseño de los estudios iniciales en los que se basa la toma de decisiones debe responder a las necesidades de las diversas partes interesadas. Teniendo en cuenta que el proceso racional presentado en este capítulo está enmarcado en una economía política, es importante que los responsables de la toma de decisiones se centren en aquellos pasos del proceso en los que pueden influir. No obstante, las presiones políticas nunca deben utilizarse como excusa para no realizar una planificación adecuada o no evaluar cuidadosamente los sistemas ferroviarios urbanos frente a otras alternativas competitivas de transporte público de alta capacidad y como parte de una estrategia de movilidad urbana integrada más amplia.

Si bien el costo de los estudios de planificación y los análisis de alternativas puede oscilar entre 1 millón y varios millones de dólares, este costo generalmente es una proporción minúscula de la inversión total en un proyecto. Por ejemplo, en los Estados Unidos, el costo de los estudios de diseño preliminar generalmente oscila entre el 2 % y el 4 % de los costos de construcción de un proyecto, y en el caso del diseño final, puede equivaler a entre el 7 % y el 11 % de los costos de construcción de un proyecto (Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito, 2010, p. 22). En general, el principal obstáculo no es el costo, sino el corto período que se impone para las etapas de planificación y diseño preliminar. La capacidad de crear un compromiso político duradero a favor del proyecto depende en gran medida de la calidad y la aceptación del croquis de diseño y de los estudios preliminares. Esta inversión inicial también es fundamental para identificar la inversión en transporte alternativo que satisfaga

mejor las necesidades de las partes interesadas del proyecto, dentro de los límites del presupuesto disponible y en los plazos establecidos. Esta inversión en la planificación inicial deliberada ayuda a reafirmar el apoyo de las partes interesadas y a maximizar los beneficios del desarrollo; además, puede evitar costosas modificaciones del diseño del proyecto en etapas posteriores de la ejecución.

En este capítulo, se brinda orientación sobre lo siguiente:

- Elaboración de una estrategia integrada de transporte urbano basada en buenas prácticas;
- Generación de alternativas de inversión para cumplir los objetivos de esa estrategia de transporte;
- Comparación de estas alternativas con un nivel de detalle que permita equilibrar el costo de la evaluación con la exactitud deseada de los resultados.

Con estos pasos, se formulará una presentación clara de alternativas en las distintas situaciones hipotéticas posibles, lo que permitirá a los responsables de la toma de decisiones determinar si invierten fondos en estudiar y diseñar una alternativa tentativamente preferida en forma detallada.

Estudios de diagnóstico del transporte urbano

El primer paso de la planificación de todo proyecto de transporte urbano de magnitud es diagnosticar las condiciones y las necesidades actuales del sistema de transporte urbano. Este estudio de diagnóstico tiene dos objetivos:

- Recopilar y sintetizar los datos necesarios para evaluar el desempeño del sistema de transporte urbano actual;
- Elaborar y calibrar los modelos de previsión y evaluación que se utilizarán en las etapas siguientes del proceso de toma de decisiones.

En estos estudios de diagnóstico, se enumeran las necesidades y los desafíos en materia de transporte, se identifican las causas subyacentes y se establecen los objetivos de planificación y los indicadores de desempeño correspondientes.

El contenido de un estudio de diagnóstico depende del contexto de la ciudad receptora: los patrones de uso del suelo y actividad, la distribución espacial de la población en diferentes grupos sociodemográficos y otros factores. En primer lugar, es posible que ya existan algunos datos pertinentes (por ejemplo, información sobre el uso del suelo de un Sistema de Información Geográfica \[SIG] e información socioeconómica de un censo), y quizá incluso haya un modelo de

transporte que se pueda modernizar. En segundo lugar, el foco de atención de un estudio de una ciudad específica depende de sus contextos demográfico, económico y financiero actuales y futuros. Estos contextos varían ampliamente en todo el mundo debido a las diferencias en la distribución de ingresos, las tasas de urbanización, los niveles y las tendencias de motorización, los patrones de uso del suelo y de viaje, la distribución actual de modalidades, las funciones relativas de los sectores público y privado en la prestación de servicios de transporte público, las prácticas relativas a los subsidios, el nivel de desarrollo de la red vial, y la percepción sobre la urgencia de los problemas económicos o de transporte.

Actividades de diagnóstico relacionadas con la demanda

Con respecto a la demanda, las actividades de diagnóstico incluyen una encuesta de hogares relativa a los viajes para registrar datos demográficos, la situación económica, la motorización y las actividades de los hogares (incluidos los orígenes y destinos). Los estudios realizados desde el punto de vista de la demanda también incluyen datos socioeconómicos sobre la distribución de la población, los ingresos y los empleos, como así también encuestas sobre voluntad de pago para evaluar el valor que asignan al tiempo diferentes tipos de personas. La recopilación de datos en los hogares se complementa luego con cómputos de tráfico y pasajeros (incluidos los viajes en medios de transporte no motorizado) y diversos estudios de la economía local y los patrones urbanos, como el desarrollo del uso del suelo. Además de las encuestas de hogares relativas a los viajes, los nuevos métodos de recopilación pasiva de macrodatos (*big data*), incluidos los métodos de colaboración abierta (*crowdsourcing*) y los registros de datos de llamadas de teléfonos móviles, pueden ayudar a determinar cómo se trasladan las *personas* en la ciudad. Toda esta información brinda a la ciudad un panorama claro sobre cuándo y dónde viajan los habitantes, y los principales problemas que deben enfrentar los usuarios a causa de las limitaciones actuales del transporte. Puede utilizarse para identificar y priorizar los corredores en los que se necesita transporte público de alta capacidad para satisfacer la demanda, y determinar en qué medida los pasajeros podrían cambiar de modalidad si se incorporara una línea ferroviaria urbana u otra intervención basada en la oferta.

Actividades de diagnóstico relacionadas con la oferta

Con respecto a la oferta, mediante las actividades de diagnóstico se recopilan datos sobre el sistema de transporte urbano, que incluyen infraestructura —por ejemplo, las redes viales, los carriles para bicicletas y las aceras—, como así también servicios de transporte existentes o previstos y actividades de uso del suelo. En los estudios realizados desde el punto de vista de la oferta, los

servicios prestados por taxis o flotas de vehículos de propiedad privada se consideran fuera del servicio de transporte público formal. Si bien estas rutas generalmente son difíciles de registrar, existen nuevas herramientas de libre acceso que utilizan la colaboración abierta y los teléfonos móviles para trazar un mapa de estas rutas en toda la ciudad[1]. En este tipo de estudios sobre la oferta, también se consideran las instituciones y políticas que planifican, operan y regulan los patrones de desarrollo urbano, la infraestructura y los servicios de transporte. Esta información es útil para identificar los objetivos de planificación y las mediciones del desempeño correspondientes.

Además del examen de la infraestructura y las instituciones de la oferta, es importante incluir un estudio del gasto público del sector de transporte urbano de la ciudad. En este estudio, se evalúan las fluctuaciones de la actividad económica actual y se resumen el flujo de capital y los gastos de operación y mantenimiento de todas las fuentes de servicios de vías urbanas y transporte público durante los 5 a 10 años anteriores. El estudio puede señalar posibles restricciones de fondos para futuros proyectos o programas de inversión, lo que puede ser especialmente importante dado el gran incremento de gasto corriente y de capital que demandaría un sistema de transporte público de alta capacidad nuevo o ampliado (incluidos los ferrocarriles urbanos).

Si bien todavía no es una práctica común, se recomienda especialmente que estos estudios de diagnóstico iniciales se utilicen para elaborar (o actualizar) un modelo de transporte urbano que esté bien calibrado para explicar y estudiar las condiciones actuales (año de referencia). Dado que estos estudios de diagnóstico y modelos sientan las bases para una evaluación más detallada de las alternativas de proyectos, su calidad afectará la calidad de todas las etapas siguientes del proceso de toma de decisiones.

Elaboración de modelos de demanda

El número de pasajeros y los ingresos de operación correspondientes son factores clave para el éxito o el fracaso de un proyecto ferroviario urbano[2]. Por lo tanto, la elaboración de modelos y la previsión de la demanda y los ingresos son actividades fundamentales durante todo el proceso de toma de decisiones. La previsión de la demanda de viajes es un proceso analítico mediante el cual se pronostican los patrones de demanda de viajes en una región, los volúmenes de tráfico de los sistemas de transporte y los niveles de servicio que se requieren de los transportes. El primer paso de la previsión es elaborar un modelo de los hábitos actuales de viaje de una región, lo que incluye cuándo y con qué frecuencia viajan las personas, adónde viajan, qué modalidad de transporte usan y qué

camino o ruta eligen. Estos modelos luego pueden utilizarse para predecir la forma en que los hábitos evolucionarán en el futuro. En la previsión generalmente se aplica un enfoque de modelos matemáticos para describir la relación causal entre el uso del suelo y las condiciones socioeconómicas y la demanda de sistemas o servicios de transporte (por modalidad).

Las previsiones de viajes contribuyen a la adopción de decisiones estratégicas y normativas acertadas y son necesarias para fundamentar todo desarrollo de infraestructura de gran magnitud. Es recomendable que las previsiones de viajes se apliquen en primer lugar en el análisis de alternativas, a fin de comparar las diferentes opciones de modalidades y servicios y la forma en que satisfacen las necesidades en materia de viajes de una región. Las previsiones de la demanda de viajes, que pueden perfeccionarse durante todo el proceso de desarrollo del proyecto, brindan datos esenciales para otros análisis, incluidos el diseño preliminar y el diseño detallado del proyecto, los análisis de impactos sociales y ambientales, la evaluación de riesgos, los análisis de costos y beneficios, y la planificación financiera.

La calidad de los resultados y predicciones derivados de los modelos de previsión de la demanda de viajes depende de la calidad de los datos utilizados para calibrar el modelo de acuerdo con las condiciones del año de referencia. Para la mayoría de los modelos de previsión de la demanda de viajes, se necesita información actual y precisa sobre lo siguiente:

- las características sociales y demográficas de la población regional de los pasajeros potenciales y reales, por ejemplo, edad, sexo, ingresos, disponibilidad de vehículo, número de integrantes de la unidad familiar y situación laboral;
- el origen y el destino de los viajes entre zonas geográficas, los propósitos de los viajes, y los factores socioeconómicos y demográficos de los hogares o de las personas que hacen estos viajes;
- la descripción de la red y las características de todas las modalidades del sistema de transporte existente y el previsto, por ejemplo, tiempos y costos de los viajes, frecuencias de los servicios, rutas y estaciones, y número de conexiones;
- el uso del suelo, que incluye la actividad, la densidad y la combinación de usos (comercial o residencial);
- otras políticas o intervenciones de movilidad planificadas en torno al corredor en cuestión, por ejemplo, mejoramiento de redes viales o aeropuertos, gestión de la demanda y estacionamientos;
- uso del suelo y planes de desarrollo en la zona.

En la mayoría de los casos, estos datos provienen de censos nacionales o regionales [3], encuestas sobre viajes, cómputos de tránsito, y datos históricos de redes de transporte público consolidadas, incluidos los inventarios de sistemas de transporte (programas y SIG) y las aplicaciones de tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), como los sistemas de posicionamiento global (GPS), el seguimiento de vehículos y los registros de pago de tarifas de tarjetas con chip. Estos datos previos, una vez recopilados y verificados, pueden utilizarse durante todo el proceso de toma de decisiones en diferentes técnicas de elaboración de modelos de demanda de viajes con distintos niveles de complejidad y aplicación (véase el cuadro 3.1).

El modelo tradicional de cuatro pasos

El modelo de cuatro pasos es la técnica más utilizada para elaborar modelos de demanda de viajes. En este modelo, se generan los viajes y luego se distribuyen entre zonas geográficas, se dividen los viajes por modalidad, y se asignan a las redes viales y de tránsito (véase el gráfico 3.2).

En el modelo de demanda de viajes de cuatro pasos, se abordan simultáneamente una amplia variedad de cambios de los sistemas, se tiene en cuenta la competencia entre modalidades y se evalúan las interacciones a largo plazo entre el uso del suelo y el sistema de transporte urbano. Por lo tanto, se recomienda aplicar este enfoque (o los modelos basados en actividades, aún más avanzados) para los estudios de factibilidad de proyectos o el análisis detallado de una alternativa de proyecto preferida en el segundo paso del marco de toma de decisiones que se describe en este capítulo. Sin embargo, el modelo de

CUADRO 3.1. Resumen de técnicas de elaboración de modelos de demanda para corredores de transporte público de alta capacidad

INDICADOR	MODELO DE CUATRO PASOS	MODELO ESTRATÉGICO O DE ESQUEMA
Nivel de detalle	Modelo detallado y desglosado que registra la demanda de viajes y la asigna a los patrones actuales de uso del suelo y la oferta de transporte urbano.	Abarca todo el sistema, es general y global.
Costo	Se necesitan más datos y recursos para crearlo y actualizarlo.	Crearlo y operarlo es relativamente económico.
Uso y limitaciones	Simulación actual o a corto plazo de la demanda y la distribución por modalidades en diferentes escenarios de oferta; puede ser especialmente útil para considerar inversiones en transporte alternativo (como el transporte ferroviario urbano).	Adecuado para analizar el futuro a largo plazo y programar múltiples líneas de transporte público de alta capacidad en una red; es posible que no capte los matices entre los diferentes corredores o vecindarios de la ciudad.

GRÁFICO 3.2. Proceso y resultados del modelo de demanda de viajes de cuatro pasos

Fuente: Modificado a partir de Ho, 2016.

cuatro pasos requiere una cantidad considerable de datos y recursos analíticos, lo que a su vez demanda una inversión monetaria y tiempo de preparación. Además, su complejidad podría indicar erróneamente un grado de precisión insuficientemente respaldado si el modelo no tiene datos sólidos o está mal estructurado, calibrado y probado (Ortúzar y Willumsen, 2011). En algunos casos, quizá sea más adecuado utilizar una técnica de previsión más simple, como los modelos de previsión incremental o la planificación mediante esquemas, en consonancia con el nivel de detalle necesario para este paso.

Modelos estratégicos o de esquema

En general, se justifica utilizar una cantidad considerable de recursos analíticos y monetarios a fin de elaborar un modelo completo de cuatro pasos para la previsión de la demanda de viajes de la región metropolitana y emplear esta información para evaluar diferentes mejoras en los corredores; sin embargo, a menudo el costo es demasiado alto para aplicar el modelo a muchas alternativas. Además, quizás no se disponga de la información detallada y actual sobre aspectos socioeconómicos y viajes que se necesita. Por estas razones, las técnicas de estimación de la demanda de menor nivel, como los modelos de previsión incremental o la planificación mediante esquemas, quizás sean adecuadas para la planificación estratégica en las etapas iniciales, cuando los analistas están más interesados en crear modelos de cambios a largo plazo en el uso del suelo y las estadísticas demográficas y en comprender las ventajas y desventajas de varias alternativas que en obtener una estimación precisa sobre un solo proyecto.

En los modelos de previsión incremental, se elaboran cuadros con estimaciones de viajes del año de referencia a partir de los datos existentes de redes y encuestas sobre viajes; se ajustan estos cuadros en función de los cambios a largo plazo en el uso del suelo y los valores demográficos, y luego se crean tablas de viajes "dinámicas" utilizando las elasticidades de demanda para tener en cuenta los cambios a corto plazo en el servicio, por ejemplo, los cambios en las tarifas, las frecuencias del servicio o las velocidades (Ortúzar y Willumsen, 2011). Las ventajas del modelo de previsión incremental son su simplicidad y su comunicabilidad, ya que los resultados requieren un análisis limitado y están vinculados con datos de viajes reales y medidos. Aunque este enfoque puede ser útil

para elaborar modelos de las condiciones de los sistemas en el presente y en el futuro cercano, es muy difícil de aplicar cuando existe la posibilidad de que los patrones de origen-destino cambien drásticamente debido a modificaciones importantes en la red de transporte, por ejemplo, un sistema ferroviario urbano nuevo, ampliado o sumamente mejorado.

Los modelos de planificación mediante esquemas consisten en un proceso de cuatro pasos simplificado, en el que se utilizan redes básicas para describir las características del servicio del sistema de transporte (en general, a nivel de distritos). Al igual que ocurre con la previsión incremental, la ventaja de los modelos de planificación mediante esquemas es que se elaboran rápidamente y requieren una cantidad limitada de datos; por otro lado, a menudo carecen de la especificidad geográfica de las zonas que se utilizan en los modelos tradicionales de cuatro pasos. Por este motivo, los modelos de planificación mediante esquemas brindan resultados de previsión generales que pueden ser útiles para los análisis a nivel estratégico o normativo, pero no se aplican a los análisis a nivel de las instalaciones u operaciones (Ortúzar y Willumsen, 2011). Pueden ser útiles para fundamentar la decisión de elaborar o no un proyecto de transporte público de alta capacidad, pero será necesario refinar los resultados y realizar análisis adicionales para obtener previsiones de la demanda más detalladas a fin de tomar decisiones específicas en materia de planificación y diseño para un proyecto en particular.

Elaboración de modelos de la demanda en países de ingreso bajo y medio

Los países de ingreso bajo y medio pueden enfrentarse a desafíos e incertidumbres adicionales con respecto a la elaboración de modelos de la demanda si en el futuro se plantea un desarrollo más dinámico y se producen cambios en gran escala en los hábitos de viaje (por ejemplo, la motorización) como consecuencia del crecimiento económico y demográfico. Por lo tanto, es importante revisar todo el proceso de elaboración de previsiones y cerciorarse de que todos los supuestos y datos en los que se basan la estructura, la calibración y la validación del modelo sean objetivos y transparentes. Asimismo, es posible emplear dos técnicas para mejorar la calidad de los resultados de las previsiones (Ho, 2016):

- En primer lugar, los analistas deben segmentar la población de pasajeros para comprender la composición de la demanda prevista. Entender cómo varía la demanda a lo largo de la línea de transporte público de alta capacidad prevista según el nivel de ingresos, por ejemplo, puede ayudar a fundamentar la política de tarifas y descuentos del sistema de transporte público.
- En segundo lugar, es importante analizar la variabilidad de los resultados de las previsiones en futuros diferentes para tener una idea de la solidez de la

demanda en condiciones de incertidumbre en cuanto al crecimiento económico, el cambio demográfico y otros factores en vista de los planes existentes de uso del suelo y desarrollo.

Al momento de prepararse para realizar un estudio de previsión de la demanda durante la etapa inicial de elaboración de un proyecto, es importante no subestimar el esfuerzo que esto conlleva. Muchas regiones metropolitanas de países de ingreso alto cuentan con un organismo de planificación específico para las previsiones de viajes y disponen de los datos necesarios y de personal calificado y experimentado para actualizar o ampliar su modelo de cuatro pasos con relativa rapidez. En muchos países de ingreso bajo y medio, esta infraestructura institucional y para la elaboración de modelos posiblemente deba evolucionar con el tiempo. Los países de ingreso bajo y medio quizá necesiten destinar recursos adicionales para recopilar los datos necesarios, capacitar al personal del organismo pertinente y elaborar el modelo analítico antes del inicio del estudio de previsión.

Es importante considerar y seleccionar cuidadosamente el método más apropiado para las circunstancias institucionales y de los proyectos específicas. A menudo es preciso considerar primero un método de previsión de la demanda de viajes menos avanzado y, luego, cooperar con organismos nacionales y expertos internacionales para fortalecer la capacidad técnica y emplear modelos más avanzados o de vanguardia (como los modelos basados en actividades o la microsimulación). En tales casos, debe hacerse lo posible por recopilar datos socioeconómicos detallados sobre la población, los ingresos y la distribución del empleo mediante un censo actualizado y una encuesta de hogares relativa a la demanda de viajes o datos detallados de uso del suelo y del SIG.

Uso de los resultados de los modelos de demanda

Los resultados de los modelos de demanda se utilizan durante el proceso de seis pasos para decidir si se realiza una inversión en transporte público de alta capacidad. Los modelos de demanda basada en el año de referencia se utilizan para comprender las condiciones actuales e identificar los corredores prioritarios que necesitan expansión de capacidad e inversión en infraestructura en las primeras etapas de diagnóstico y preparación de la estrategia. Luego se utilizan las previsiones a corto y a largo plazo para realizar evaluaciones comparativas de las alternativas de inversión y comunicar de forma sucinta los resultados de estas evaluaciones a los responsables de la toma de decisiones del proyecto.

Elaboración de modelos de demanda basada en el año de referencia

Los modelos de demanda calibrados cuidadosamente de acuerdo con las condiciones actuales (año de referencia) son útiles tanto durante el estudio de

diagnóstico como inmediatamente después, durante el proceso de preparación de la estrategia de transporte urbano. Las condiciones del año de referencia ofrecen descripciones breves de complejos hábitos de viaje de toda la ciudad y pueden ayudar a identificar los principales corredores en los que se podría necesitar transporte público de alta capacidad para satisfacer la demanda actual. La calibración cuidadosa de estos modelos basados en el año de referencia también es indispensable para elaborar previsiones más exactas de la demanda futura.

Elaboración de previsiones de la demanda a corto plazo

Las previsiones de la demanda elaboradas a partir de estos modelos basados en el año de referencia se utilizan posteriormente para evaluar diferentes alternativas de transporte. Las previsiones del número de pasajeros derivadas de estos modelos fundamentan los resultados de los análisis económicos y financieros de las alternativas, ya que el número de pasajeros determina la cantidad de personas que se beneficiarán de la nueva infraestructura o el nuevo servicio y los ingresos tarifarios. Asimismo, las elasticidades de los modelos de la demanda permiten elaborar previsiones de cambios de modalidades basados en las tarifas y las características del servicio de cualquier alternativa de transporte prevista. Por lo tanto, los estudios sobre la demanda son un elemento esencial a la hora de decidir si se elabora un proyecto de transporte público de alta capacidad, y un componente necesario de muchos otros estudios previos. Además, en el caso de las estrategias de adquisiciones por las que se subcontrata la operación del sistema y se comparte el riesgo de demanda entre el sector público y un socio privado, estos modelos de la demanda deben ser de calidad óptima a fin de determinar sistemas de compensación adecuados para la operación y el mantenimiento a largo plazo (véanse los capítulos 8, 9 y 10).

Elaboración de previsiones de la demanda a largo plazo

Dado que la vida útil económica de los sistemas ferroviarios urbanos generalmente es bastante prolongada (más de 50 años), la necesidad de elaborar previsiones de demanda e ingresos a largo plazo plantea varios desafíos. Existe cierta tensión entre las previsiones a corto plazo y a largo plazo. Ambas se basan en un modelo de oferta y demanda de transporte calibrado de acuerdo con las condiciones actuales. A fin de reducir los riesgos relacionados con el número de pasajeros y los ingresos, los modelos pueden diseñarse para ofrecer la máxima precisión con respecto a las condiciones actuales y las previsiones a corto plazo (por ejemplo, del primer año). Estos modelos generalmente son poco adecuados para las previsiones a largo plazo debido a la dificultad (o incluso la imposibilidad) de elaborar previsiones creíbles de los factores demográficos, económicos y de uso del suelo que sustentan la demanda de transporte. Asimismo, la necesidad

de elaborar previsiones a largo plazo no se limita a la alternativa de los ferrocarriles urbanos, sino que se extiende a todas las demás opciones de transporte público de alta capacidad (más económicas y de vida útil más corta) que se evalúan en un contexto determinado. Estas previsiones también están sujetas a una gran incertidumbre. Por ende, los resultados de estos modelos deben expresarse como rangos de cantidad de pasajeros razonablemente amplios, que tengan en cuenta el error en la elaboración del modelo y la incertidumbre del futuro. Estos valores, si bien no son estimaciones puntuales precisas, pueden ser útiles para comparar los beneficios relativos para los usuarios de diferentes alternativas de transporte, pero no garantizan un nivel mínimo de número de pasajeros una vez terminado el proyecto.

Elaboración de una estrategia de movilidad urbana integrada

Los datos, modelos y objetivos derivados de la etapa de diagnóstico son aportes necesarios para una estrategia de movilidad urbana integrada. En esta estrategia se identifican corredores de transporte clave para la ampliación de la capacidad y se recomiendan paquetes de inversiones en transporte a largo plazo para mitigar los problemas actuales y planificar el futuro crecimiento de la demanda. Esta estrategia es un conjunto de acciones, entre las que se pueden incluir las siguientes:

- inversiones en infraestructura vial o de transporte público;
- políticas para asignar el espacio actual de las calles a las distintas modalidades;
- una política de subsidios y determinación de precios para las subredes viales urbanas y de transporte público;
- cambios institucionales y normativos, en particular, en las funciones relativas de los sectores público y privado en la provisión del servicio de transporte público;
- una combinación de las acciones anteriores (véase el recuadro 3.1).

Las estrategias de movilidad urbana integrada conectan las soluciones de infraestructura, determinación de precios, política y gestión de transporte con las consideraciones relativas al uso del suelo y otros objetivos de desarrollo sostenible, como la prosperidad compartida y la inclusión social (véase el capítulo 2) o la sostenibilidad ambiental.

Los detalles de la elaboración de esta estrategia exceden el alcance de este manual y son tema de numerosas publicaciones (véase, por ejemplo, May, 2005).

RECUADRO 3.1.

Principales componentes de una estrategia de movilidad urbana integrada

En general, se utilizan planes maestros para visualizar la red de infraestructura de transporte a largo plazo en toda la región metropolitana. Sin embargo, estos planes a menudo son estáticos y se centran exclusivamente en la provisión de infraestructura nueva. Por lo tanto, pueden complementarse con una estrategia de movilidad que aborde las fases de desarrollo a corto y medio plazo para cumplir la visión a largo plazo, tenga un ámbito de interés más limitado y refleje las limitaciones de recursos. Asimismo, en una estrategia de movilidad integrada, se identifican las medidas relativas a la infraestructura en combinación con las medidas de gestión, determinación de precios y uso del suelo, a fin de lograr un mejor desempeño respecto de los objetivos de la política de transporte (May y Roberts, 1995). Los posibles tipos de medidas incluyen, entre otros, los siguientes:

- *Uso del suelo y desarrollo.* Densidad y combinación de desarrollo (zonificación); ubicación con relación a la infraestructura de transporte; ocupación del centro urbano o *infilling* y control del desarrollo periférico (crecimiento urbano desordenado); reservas de tierras para dotaciones, establecimientos públicos, infraestructura y servicios.
- *Infraestructura de transporte.* Nuevas líneas ferroviarias (o de metro ligero); autobús de tránsito rápido (BRT) u otro derecho de vía exclusivo para autobuses; nuevas estaciones (de autobuses o trenes); servicios para peatones y ciclistas; integración multimodal y servicios de conexión; instalaciones de estacionamiento y ascenso/descenso de pasajeros; oferta de estacionamiento; nuevas autopistas; mejoras de autopistas.
- *Determinación de precios.* Tasas por estacionamiento (en la calle y fuera de esta); cargos por el uso de carreteras; precios de los combustibles, impuestos relacionados con el carbono; niveles y estructuras de las tarifas del transporte público.
- *Gestión.* Mejoras de la frecuencia de los servicios (autobús o tren); reestructuración de las rutas de autobuses; prioridades para los autobuses; control del tráfico urbano y gestión de la demanda (por ejemplo, señalización coordinada); moderación del tráfico; calles de un solo sentido; control del estacionamiento (en la calle, estacionamiento público o privado); reglamentación sobre el uso compartido de automóviles; información para los pasajeros; telecomunicaciones.
- *Información y actitudes.* Educación y sensibilización pública; programas de aprendizaje práctico y de nivel universitario de oficios de importancia clave relacionados con el desarrollo de infraestructura y las operaciones de transporte; fortalecimiento de la capacidad interna de las autoridades públicas y los organismos de ejecución del proyecto.

En las estrategias de transporte urbano, las medidas deben integrarse en un paquete equilibrado en cuanto al tratamiento de las modalidades (las carreteras y el transporte público), las zonas geográficas de la ciudad y los grupos de usuarios. Un enfoque integrado —en el que se coordinen la provisión de infraestructura, la gestión de la infraestructura actual, la determinación de precios del uso de la infraestructura, y el uso del suelo— puede reducir considerablemente la escala de los problemas del transporte urbano. En las zonas urbanas densamente pobladas, con un nivel de congestión de tráfico severa y corredores de alta capacidad, la provisión de una nueva infraestructura ferroviaria puede formar parte de esta clase de estrategias, pero debe complementarse con otras medidas.

Fuente: Adaptado de May, 2005.

A los efectos del presente manual, basta recordar que el desarrollo de un nuevo sistema de transporte público de alta capacidad o la ampliación de la infraestructura de transporte público de alta capacidad actual es solo una medida dentro de una estrategia de movilidad urbana. A fin de cumplir los numerosos objetivos de desarrollo de la ciudad receptora, la inversión en un sistema de transporte público de alta capacidad debe complementarse con el desarrollo de otros servicios y obras de infraestructura, el uso de nuevas prácticas de gestión y determinación de precios, y las políticas de uso del suelo. Una vez que se completa la estrategia de movilidad urbana y se establecen las prioridades en los corredores de transporte, los responsables de la toma de decisiones pueden proceder a diseñar y evaluar las diferentes alternativas de transporte (como los ferrocarriles urbanos) para los principales corredores.

Generación de alternativas de inversión

Una vez finalizada la planificación estratégica, los corredores se establecen como principal prioridad en cuanto a mejoras e inversión. Mediante la generación y la evaluación de alternativas, se identifica la alternativa más adecuada que permita resolver los problemas de transporte y otros problemas conexos de un corredor determinado, y que sea eficaz en función de los costos y asequible. A fin de decidir qué tipo de proyecto se ejecutará, es preciso analizar y comparar alternativas de inversión razonables.

Es fundamental realizar un análisis profundo de las alternativas para determinar el tipo de inversión en transporte que ofrece el mayor rendimiento social y económico para la ciudad receptora (en un entorno con restricciones fiscales). Este análisis se lleva a cabo antes de tomar la decisión de planificar y diseñar un proyecto de transporte. La opción más adecuada debe demostrarse mediante datos analíticos, y no determinarse de antemano. Esta evaluación es especialmente pertinente dado el tamaño y la complejidad de las soluciones de transporte público de alta capacidad, y es incluso más importante en el caso de los países de ingreso bajo y medio, donde el costo de oportunidad para la sociedad probablemente sea más alto.

Uno de los principios habituales de la solución de problemas es examinar todas las opciones pertinentes. Sin embargo, la planificación de inversiones en sistemas de transporte público de gran envergadura suele estar limitada por el costo de los estudios, el marco temporal de la oportunidad política y económica, y otros aspectos específicos del contexto local. Es importante considerar un conjunto de alternativas de transporte que incluya todas las opciones razonables y prometedoras que los responsables de la toma de decisiones tengan a su

disposición y, a la vez, intentar que el número de alternativas sea lo más reducido posible para disminuir el plazo, el costo y la complejidad del proceso de análisis.

La utilidad de la evaluación de alternativas en el proceso de toma de decisiones relativas a la inversión en transporte depende, en gran medida, de la elección de alternativas (Vuchic y Casello, 2007). El conjunto de alternativas debe cumplir con las metas y los objetivos de mejora del corredor que se determinaron durante los estudios de diagnóstico. Estas alternativas deben estructurarse de modo tal que se identifiquen las diferencias de desempeño entre las posibles soluciones basadas en la oferta (por ejemplo, invertir en el sistema vial o en el transporte por autobús o en el transporte ferroviario) para resolver los problemas de transporte descritos en la estrategia de transporte urbano. Recién entonces, con el análisis técnico se podrá generar la información que los responsables de la toma de decisiones necesitan a la hora de seleccionar un proyecto en particular. Después de considerar las posibles fuentes de incertidumbre en la evaluación de alternativas, el resultado final es la información necesaria para decidir si se realiza la planificación detallada de una opción tentativamente preferida.

Alternativas habituales

En un corredor determinado, para el que se plantea un desarrollo de ferrocarriles urbanos, el conjunto de alternativas debe incluir una alternativa de gestión del sistema de transporte "sin construcción", una o más alternativas de ferrocarriles urbanos, y otras opciones de transporte público de alta capacidad (por ejemplo, metro ligero o BRT) (véanse los cuadros 3.2 y 3.3). La alternativa "sin construcción" se incluye en el análisis como parámetro comparativo con otras alternativas que conllevan un uso más intensivo de capital y el desarrollo de infraestructura nueva. En general, a medida que aumenta la exclusividad del derecho de vía, también aumenta el costo inicial de inversión.

Este conjunto sugerido de alternativas pone de manifiesto las ventajas y desventajas inherentes entre los diferentes niveles de gastos de capital, beneficio público y riesgo a lo largo del tiempo. Cada una de estas alternativas es, en realidad, una familia de alternativas, y los elementos de diseño específicos deben detallarse mejor durante el proceso de evaluación para satisfacer las necesidades del corredor específico dentro de un período predefinido. Cada alternativa debe ser factible dentro del entorno económico y político de la ciudad y el país receptores, y debe detallarse hasta que sea razonable desde el punto de vista físico, financiero y de las operaciones. De esta manera, no hay alternativas irrelevantes (Kain, 1992), y cada alternativa incluida en el análisis es competitiva en, al menos, una dimensión: costo, beneficio o riesgo.

CUADRO 3.2. Principales características físicas del metro, el metro ligero y el autobús de tránsito rápido

COMPONENTE	METRO	METRO LIGERO	AUTOBÚS DE TRÁNSITO RÁPIDO
Vía de tránsito	Vías férreas	Vías férreas	Vía o carretera
Tipo de derecho de vía	Subterránea, elevada, a nivel	Generalmente a nivel (en algunos casos, elevada o subterránea)	Generalmente a nivel (en algunos casos, elevada o subterránea)
Segregación del tráfico	Segregación total (sin interferencia) con protección del derecho de vía	Habitualmente, separación longitudinal (intersecciones a nivel), con algunas aplicaciones de segregación total	Habitualmente, segregación total, con algunas aplicaciones de segregación longitudinal (intersecciones a nivel)
Tipo de vehículo	Trenes (varios vagones)	Trenes (dos o tres vagones) o vagones únicos	Autobuses
Tipo de propulsión	Eléctrica	Eléctrica (con algunas aplicaciones diésel)	Habitualmente, motor de combustión interna (diésel o gas natural comprimido); creciente número de aplicaciones con transmisión híbrida, eléctrico con batería, o con pila de combustible de hidrógeno
Velocidad	De 30 a 40 kilómetros por hora	De 20 a 30 kilómetros por hora	De 20 a 30 kilómetros por hora
Estaciones	Embarque a nivel de plataforma	Embarque a nivel de plataforma o escaleras	Embarque a nivel de plataforma
Cobro del boleto	Fuera del vehículo	Habitualmente, fuera del vehículo	Fuera del vehículo
Sistemas	Señalización, control, información para el usuario, métodos de pago avanzados (tarjetas magnéticas o electrónicas y pago mediante teléfonos móviles)	Señalización, control, información para el usuario, métodos de pago avanzados (tarjetas magnéticas o electrónicas y pago mediante teléfonos móviles)	Control, información para el usuario, métodos de pago avanzados (tarjetas electrónicas), prioridad mediante señales de tránsito en intersecciones, sistemas de gestión de flotas
Plan de servicios	Simple; los trenes se detienen en todas las estaciones entre una terminal y otra (algunos servicios son expresos o realizan circuitos cortos)	Simple; los trenes se detienen en todas las estaciones entre una terminal y otra	Desde simple hasta muy complejo

Fuentes: Adaptado de FTA, 2009; ONU-Hábitat, 2013; Vuchic, 2007.

CUADRO 3.3. Impactos y requisitos del metro, el metro ligero y el autobús de tránsito rápido

INDICADOR	METRO	METRO LIGERO	AUTOBÚS DE TRÁNSITO RÁPIDO
Espacio de vía permanente necesario	Impacto bajo en las vías existentes	Dos carriles (angostos, 5-8 metros)	Entre dos y cuatro carriles de las vías existentes (7-15 metros)
Distancia entre estaciones	Media a alta (1 kilómetro o más)	Baja a media (500 metros o más)	Baja a media (400 metros o más)
Flexibilidad	Baja (circula por vías fijas)	Baja (circula por una vía fija)	Alta (los autobuses pueden circular dentro y fuera de los carriles exclusivos para autobuses)
Impacto en el tránsito mientras circula	Menos congestión (no interfiere en el transporte de superficie)	Variable (quita cierto espacio al tránsito)	Variable (quita espacio, pero reduce la interferencia de los autobuses en el tránsito)
Impactos relativos a la construcción	Alto (lleva más tiempo, puede incluir excavación o construcción de una estructura elevada)	Bajo a medio (según el tipo de construcción)	Bajo a medio (según el tipo de construcción)
Integración con los proveedores de transporte existentes	Potencial limitado	Potencial limitado	Buen potencial
Frecuencia máxima	Alta (de 20 a 30 trenes por hora)	Alta (de 20 a 30 trenes por hora)	Muy alta (de 40 a 60 autobuses por hora y por andén)
Fiabilidad	Alta (sin interferencia de otro tránsito)	Media a alta (según la interferencia del tránsito)	Media a alta (según la interferencia del tránsito y el control manual, podría verse afectada por la aglutinación)
Seguridad humana	Totalmente segregado de todos los usuarios viales: menor riesgo de accidentes	Segregado solo del tránsito: cierto riesgo para los demás usuarios viales	Segregado en gran medida del tránsito: cierto riesgo para los demás usuarios viales
Ruido	Bajo (según el aislamiento)	Bajo a medio (según las vías)	Alto (motor de combustión interna y neumáticos de caucho sobre la calle)

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 3.3. Impactos y requisitos del metro, el metro ligero y el autobús de tránsito rápido *(Continuación)*

INDICADOR	METRO	METRO LIGERO	AUTOBÚS DE TRÁNSITO RÁPIDO
Contaminación del aire	Sin emisiones de escape; los contaminantes derivados de la generación de energía dependen de la fuente de energía y las tecnologías utilizadas	Sin emisiones de escape; los contaminantes derivados de la generación de energía dependen de la fuente de energía y las tecnologías utilizadas	Emisiones de escape en el caso de los motores de combustión interna y contaminantes derivados de la generación de energía en el caso de los sistemas de propulsión alternativos; los contaminantes derivados de la generación de energía dependen del motor, el combustible y la tecnología de control de emisiones
Emisiones de gases de efecto invernadero	De 38 a 68 gramos por pasajero-kilómetro	De 38 a 100 gramos por pasajero-kilómetro	De 28 a 204 gramos por pasajero-kilómetro
Experiencia del pasajero	Circulación tranquila, muy confortable (según el grado de ocupación)	Circulación tranquila, muy confortable (según el grado de ocupación)	Circulación irregular (aceleraciones y frenadas repentinas), medianamente confortable (según el grado de ocupación)

Fuente: Adaptado de Gwilliam, 2002; Halcrow Fox, 2000; ONU-Hábitat, 2013; Wright y Fjellstrom, 2003.

La alternativa de gestión del sistema de transporte "sin construcción"

La alternativa "sin construcción" es una familia de alternativas que representa el conjunto de posibles intervenciones que no incluyen la inversión en infraestructura nueva. La alternativa "sin construcción" puede incluir desde un enfoque de "no hacer casi nada" hasta un paquete integral de mejoras en los servicios y la gestión del sistema de transporte y cambios en la determinación de precios y la política.

En muchos estudios, la alternativa "sin construcción" se define engañosamente como la alternativa de "no hacer casi nada", que excluye todas las mejoras del transporte que no sean aquellas que ya se han financiado y se encuentran en la etapa de desarrollo en la región metropolitana. En muchos casos, esta no es una opción viable debido a los problemas de transporte actuales de la ciudad (identificados en los estudios de diagnóstico) y los objetivos de la estrategia de transporte urbano. En el caso de las ciudades con corredores que necesitan una

ampliación considerable de la capacidad, una alternativa que no implique una expansión de la infraestructura o una mejora del sistema adicional tendría muchas consecuencias negativas (costos), por ejemplo, niveles de congestión excesivos y un freno al desarrollo (Kain, 1992). Si bien la alternativa de "no hacer casi nada" generalmente implica que no existen gastos de capital adicionales y puede verse como una alternativa "de costo nulo", es importante considerar el alto costo de oportunidad relacionado con la ausencia de inversión. Este costo de oportunidad incluye el tiempo y el valor que se pierden debido a la congestión, la contaminación, los accidentes y otras externalidades negativas derivadas de la falta de inversiones en el desarrollo de infraestructura crítica o en mejoras de los servicios.

Al evaluar un sistema de transporte público de alta capacidad en comparación con una alternativa "sin construcción", es importante considerar como valor de referencia un paquete de mejoras de menor costo de la infraestructura vial existente, nuevas estrategias de gestión del tráfico (incluida la prioridad mediante señales de tránsito), mejoras en los servicios y las rutas de los autobuses, y mejoras de los servicios de transporte a pie y en bicicleta, o una combinación de estas intervenciones. En el caso de los sistemas de transporte público de alta capacidad con líneas existentes, las nuevas estrategias de operaciones pueden ayudar a aprovechar los activos de infraestructura existentes para mejorar el servicio, ahorrar dinero o fomentar el ahorro de energía.

Por consiguiente, la alternativa de gestión del sistema "sin construcción" debe representar la mejor solución de transporte posible a través de la mejora de la infraestructura y los sistemas existentes. Esta alternativa está diseñada para abordar los problemas específicos del corredor y demostrar la medida en que estos pueden resolverse sin una inversión considerable en un nuevo sistema de ferrocarriles urbanos u otro tipo de infraestructura. Por ende, la alternativa de gestión del sistema de transporte (en lugar de la alternativa de "no hacer casi nada") debe servir como valor de referencia para evaluar los costos y beneficios adicionales de un sistema ferroviario urbano u otra alternativa de transporte público de alta capacidad (FTA, 2005).

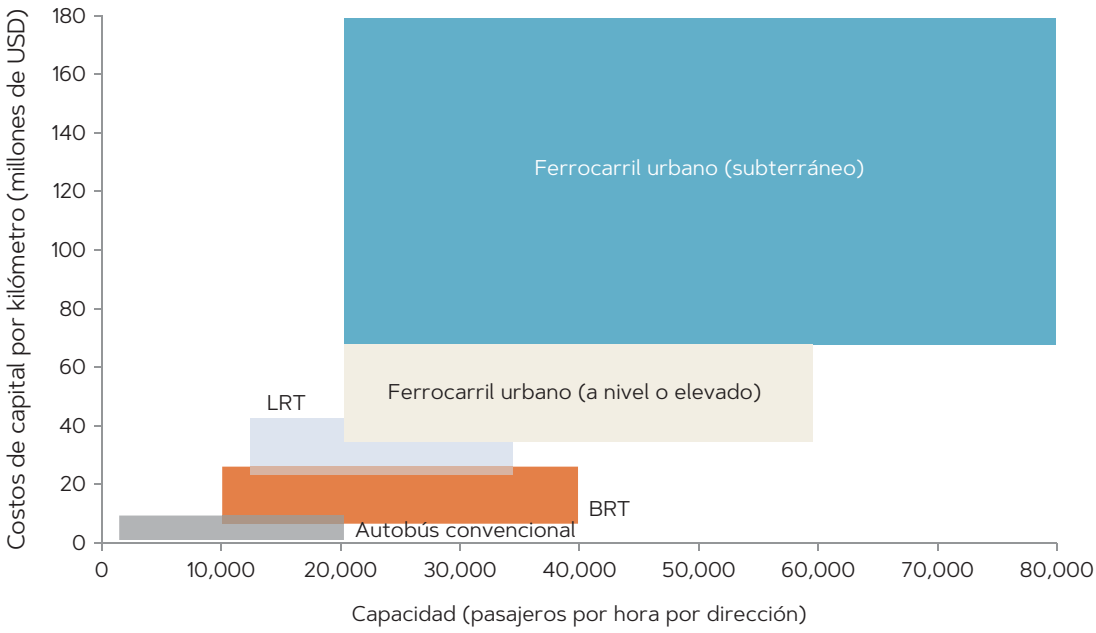
Alternativas de transporte público de alta capacidad

Las alternativas de transporte público de alta capacidad incluyen el autobús de tránsito rápido (BRT), el metro ligero (LRT) y los sistemas ferroviarios urbanos (metro o tren metropolitano). Una alternativa consiste en construir (o ampliar) el sistema ferroviario urbano. En el caso de los corredores con volúmenes de demanda que justifiquen la posible utilización de ferrocarriles urbanos de alta frecuencia y alta capacidad, el BRT y el LRT solo pueden ser alternativas competitivas a los ferrocarriles urbanos si se los incorpora con vías segregadas, fuera

de las calles, con prioridad mediante señales o señalización independiente con respecto al resto del tránsito (gráfico 3.3). Los sistemas ferroviarios urbanos y otras alternativas de transporte público de alta capacidad que se sirven de derechos de vía exclusivos generalmente requieren el nivel más alto de inversión de capital, pero brindan un servicio superior a los formatos basados en la circulación en las calles (que son económicos, pero se congestionan rápidamente) (Mitrić, 1997). En el caso de las ciudades con mucha densidad de población, las redes ferroviarias urbanas pueden ser la mejor forma de hacer frente a los volúmenes de viajes muy altos a largo plazo.

En todos los casos, también es importante considerar que toda tecnología de transporte público de alta capacidad es una suma de soluciones técnicas; es posible adaptar la modalidad a las necesidades de la ciudad receptora y su forma urbana. Todas estas alternativas de transporte público de alta capacidad, incluidos los ferrocarriles urbanos, son grupos de alternativas dado que los costos y el desempeño pueden variar ampliamente según la ubicación de la vía de transporte, la tecnología del sistema, las especificaciones de la infraestructura y los vehículos, el marco de gestión y muchos otros parámetros de diseño (Mitrić, 1998).

GRÁFICO 3.3. Comparación del costo inicial y la capacidad en modalidades de transporte público de alta capacidad



Fuente: Adaptado de ONU-Hábitat, 2013.
Nota: BRT = autobús de tránsito rápido; LRT = metro ligero.

No hay una modalidad de transporte público de alta capacidad predominante en todos los contextos, sino que, generalmente, existe una superposición de sus capacidades, costos de capital y costos de operación y mantenimiento (gráfico 3.3). Es importante considerar varias alternativas que estén diseñadas para ser competitivas en, al menos, una dimensión de costo, beneficio y riesgo del corredor específico en cuestión. También es importante reconocer que las mejoras viales y del transporte público pueden agruparse como parte de una estrategia de movilidad urbana integrada para abordar innumerables necesidades. Las alternativas deben ser multimodales y hacer hincapié en la importancia de la integración del sistema. Asimismo, toda opción de inversión en un sistema de ferrocarriles urbanos probablemente esté acompañada de inversiones, políticas e innovaciones institucionales complementarias, cuyo efecto combinado debe evaluarse cuidadosamente a lo largo del tiempo.

Nivel de diseño de las alternativas

El nivel de detalle en el diseño de alternativas afectará directamente la precisión de las estimaciones de capital y costos de operación, como también de los beneficios e impactos. Si bien las leyes de elaboración de proyectos de diferentes países definen estos niveles de diseño de distintas formas, generalmente se avanza a través de tres niveles de diseño al elaborar un proyecto: el croquis de diseño, el diseño preliminar y el diseño detallado (previo a la licitación)[4]. Una forma de distinguir el nivel de detalle en los diferentes pasos de la elaboración de un proyecto es mediante la precisión de la representación del espacio y la escala en los mapas utilizados en el análisis del proyecto. En el croquis de diseño, durante la planificación, se considera el diseño del proyecto en la región metropolitana (escala 1:50 000) a nivel del corredor (1:5000). En el diseño preliminar, se pasa del trazado de los corredores al nivel de la estación (1:500), mientras que el diseño detallado para la licitación y la construcción requiere escalas de 1:500, 1:100 e incluso 1:50 para emplazamientos específicos.

Para que el diseño y las estimaciones de costos correspondientes sirvan como base sólida para la evaluación inicial de un proyecto, lo ideal es tener todas las alternativas completas a un nivel de diseño detallado, con lo que se reducen al mínimo las incertidumbres en las estimaciones de los costos, riesgos y beneficios del proyecto[5]. Sin embargo, este enfoque sería muy costoso en todo contexto en el que se consideren varias alternativas para una inversión en un sistema de ferrocarriles urbanos y, por ende, está fuera de las posibilidades económicas de la mayoría de las ciudades o los países receptores. Los responsables de la toma de decisiones deben hallar un equilibrio entre la obligación de considerar todas las alternativas de inversión pertinentes y el deseo de aumentar el nivel de detalle en el diseño de esas alternativas y, por ende, reducir los riesgos vinculados con los costos de construcción. La mayoría de las alternativas a nivel del

sistema de transporte se finalizan a nivel del borrador del diseño, más que a nivel del diseño preliminar o el diseño detallado. Al evaluar alternativas de modalidades al nivel del corredor, el hecho de reforzar la certeza favorecería el diseño; esto debe realizarse a nivel del diseño preliminar, en el que se han identificado y se han evaluado de manera adecuada las principales incertidumbres del proyecto (incluidas las cuestiones sociales y ambientales).

Cuando se consideran varias alternativas y una de ellas es un proyecto ferroviario urbano, el problema del nivel de diseño y costo de la evaluación se resuelve organizando el proceso de diseño y evaluación en varias etapas, comenzando con varias opciones y convergiendo hacia una. Es habitual comenzar con la evaluación de varias alternativas utilizando las estimaciones de costos y beneficios realizadas al nivel del borrador del diseño (el menos costoso). A partir de esta evaluación a nivel del borrador del diseño, se pueden elegir dos o tres de las mejores alternativas y compararlas entre sí y con la alternativa de "gestión del sistema de transporte sin construcción" en mayor detalle. Las definiciones de todas las variables deben ser lo más comparables posible entre las distintas modalidades, su valuación (y ponderación) debe ser defendible, y el proceso debe ser transparente y fácil de comunicar a los responsables de la toma de decisiones.

Luego de esta evaluación de las alternativas en etapas, los responsables de la toma de decisiones pueden elegir una opción de modalidad preferida para completarla a nivel del diseño preliminar (véase el capítulo 5). En esta etapa, es recomendable analizar las diferentes combinaciones de características de diseño (por ejemplo, las velocidades medias, el tipo de material rodante, el diseño de la estación, y la ubicación de los patios y talleres) de una sola opción de modalidad. Por último, siempre es buena idea incluir la posibilidad de retroceder si los costos al nivel del diseño detallado resultan mucho más altos que los presentados en la etapa de evaluación preliminar. En tales casos, pueden ser útiles los instrumentos de optimización de proyectos (véase el capítulo 6).

Evaluación de las alternativas

Debido a los requisitos de las previsiones a largo plazo, los altos riesgos vinculados con la escala de las inversiones, y la amplitud de los posibles impactos, los proyectos ferroviarios urbanos exigen al máximo la metodología general de evaluación económica. Históricamente, las inversiones en transporte urbano, dado que generan ingresos, se han evaluado utilizando análisis financieros realizados exclusivamente en términos monetarios (costos e ingresos), en general desde el punto de vista de los inversionistas privados y sin referencia a otras opciones de

transporte público. Posteriormente, el ámbito de la evaluación económica se amplió para incluir los beneficios sociales que podían expresarse fácilmente en términos monetarios. En las aplicaciones actuales, es preciso realizar tanto el análisis financiero como el económico (Banco Mundial, 2011). Ambos análisis se efectúan exactamente de la misma manera, pero con diferentes números. También se realizan de la misma forma independientemente de que el nivel de detalle del diseño de las alternativas sea bajo o alto, con los niveles correspondientes de precisión en los modelos de la demanda (Belli y otros, 1998; Mackie, Nellthorp y Laird, 2005).

La tendencia actual en materia de evaluación económica es aumentar el nivel de complejidad de la evaluación considerando impactos que no pueden expresarse en términos monetarios o monetizados (precios sombra) (Boarnet, 2007). Esta nueva estructura de evaluación multicriterio, compleja y costosa puede captar un enorme conjunto complementario de otros impactos e inquietudes sociales relacionados con el proyecto (véase el capítulo 14). A pesar de la tendencia actual, la práctica habitual se basa en la capacidad de la mayoría de los responsables de la toma de decisiones y los analistas que evalúan las alternativas. La máxima de estos especialistas debe ser realizar los análisis económicos y financieros tradicionales y, posteriormente, aumentar el nivel de complejidad (en un análisis multicriterio) según sea necesario en virtud del entorno específico y los recursos disponibles. Teniendo en cuenta las dificultades para valorar y prever a largo plazo aun los impactos básicos (como los costos y los tiempos de viaje) de las inversiones en sistemas de ferrocarriles urbanos y otros tipos de transporte, la evaluación económica de las alternativas debe limitarse solo a los impactos más básicos que puedan monetizarse con mayor facilidad. Todas las demás externalidades positivas y negativas (véase el cuadro 3.3) deben considerarse en el marco de evaluación multicriterio.

Evaluación económica

La evaluación económica[6] es un instrumento fundamental para comprender los impactos positivos (y negativos) de un proyecto ferroviario urbano en relación con la inversión necesaria. La evaluación económica es útil para comparar diversas alternativas de mejora del transporte, establecer las prioridades de los proyectos aprobados y determinar si se debe emprender un proyecto ferroviario urbano y cómo hacerlo. Definir el objetivo de la evaluación económica ayudará a establecer qué beneficios y costos deben incluirse, así como también otros aspectos del análisis (Comité de Economía del Transporte, 2010).

El nivel adecuado de esfuerzo que se ha de invertir en la evaluación económica depende del beneficio previsto; cuando el proyecto propuesto tiene costos muy altos y beneficios de largo alcance, como en el caso del desarrollo de

ferrocarriles urbanos, vale la pena hacer un esfuerzo considerable para determinar si los beneficios superan los costos e identificar el proyecto más ventajoso en términos económicos. En la situación contraria, el esfuerzo analítico no debe ser superior a lo que se podría perder por avanzar con un proyecto que no sea beneficioso en términos de costos o por seleccionar el proyecto menos eficaz en función de los costos (cuando hay dos proyectos posibles). En la mayoría de las situaciones, los beneficios incrementales de elegir la alternativa correcta superan con creces los recursos utilizados para realizar la evaluación económica (Comité de Economía del Transporte, 2010). En todo análisis, el esfuerzo debe centrarse en estimar y evaluar los beneficios y costos que son más importantes y que más difieren entre las diversas alternativas de modalidades y opciones de diseño de proyectos.

El primer paso para estructurar una evaluación económica de un proyecto es considerar qué impactos (costos y beneficios) deben tenerse en cuenta. En la evaluación económica, generalmente se consideran todos los beneficios y costos que se generan para todos los actores, entre los que se incluyen partes interesadas como el Gobierno regional o metropolitano, el organismo de ejecución del proyecto, las entidades de financiamiento, los socios privados (si corresponde), los usuarios actuales y potenciales del transporte público, y el público en general. Según los objetivos de las distintas partes interesadas, la evaluación económica puede utilizarse para destacar ciertos tipos de impactos. Por ejemplo, al comunicar los beneficios de un proyecto a una autoridad de transporte municipal, el organismo de ejecución del proyecto podría destacar la reducción de la congestión de tráfico o la mejora de la seguridad; en cambio, a los usuarios quizá les interese más el incremento de la conectividad, y al público en general tal vez le preocupen los impactos que afectarán a los residentes o las empresas (en particular, durante la construcción) dentro de la jurisdicción que patrocina el proyecto. Debido a que los intereses de las partes interesadas pueden ser muy diversos, la perspectiva y el alcance de la evaluación deben establecerse y respaldarse desde antes de su inicio.

Beneficios económicos habituales

Entre los distintos beneficios que se consideran habitualmente en la evaluación económica de proyectos de transporte[7], se incluyen los siguientes:

- *Ahorro del tiempo de viaje o reducción de las demoras de los pasajeros*, que se define como la diferencia en el tiempo de viaje total de un viaje completo de origen a destino antes y después de la ejecución del proyecto. En el caso de un viaje en ferrocarriles urbanos, el tiempo de viaje total incluiría el tiempo de recorrido a pie desde el punto de origen hasta la entrada (acceso)

de una estación, el tiempo de espera, el tiempo de viaje dentro del vehículo, el tiempo de conexión (si corresponde) y el tiempo desde la salida de la estación hasta el destino (salida). El ahorro de tiempo se expresa en términos monetarios multiplicando el tiempo de viaje ahorrado por la distribución estimada del valor de tiempo de los futuros usuarios.

- *Cambio en los beneficios para los pasajeros,* lo que incluye cualquier modificación de las tarifas, junto con los cambios en la accesibilidad, las conexiones, los intervalos entre trenes, la conveniencia y las frecuencias de los servicios. El enfoque de excedente del consumidor es una forma de cuantificar las externalidades positivas de un proyecto como parte de una red de transporte más amplia con numerosos efectos indirectos posibles.
- *Cambios en los costos de operación del transporte urbano,* que se relacionan con el posible ahorro de costos procedente del reemplazo de los servicios de autobuses urbanos y los costos de mantenimiento vial conexos con servicios de ferrocarriles urbanos, suponiendo la incorporación de pasajeros de otras modalidades y la consiguiente reducción de vehículos por kilómetro en las redes viales. Las tarifas pagadas por los usuarios no se incluyen en ninguna evaluación económica dado que representan una transferencia neta nula de costo (del usuario) a beneficio (al operador).
- *Cambios en las externalidades del sistema de transporte urbano,* que se relacionan con las reducciones previstas de vehículos que circulan por la red vial por kilómetro de diversas modalidades (en especial, automóviles particulares) debido al cambio previsto de modalidad hacia el nuevo sistema ferroviario urbano. Este cambio de modalidad puede reducir el número de accidentes de tránsito, las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero (GEI) al aire a nivel local, la congestión y la necesidad de proveer sitios para estacionamiento. Cada una de estas externalidades puede cuantificarse y monetizarse calculando el cambio físico (por ejemplo, los cambios en las emisiones de GEI) y multiplicándolo por el ahorro unitario estimado proveniente de las fuentes disponibles (por ejemplo, Banco Mundial, 2011).

Resumen de los resultados de la evaluación económica

El efecto neto de todos los beneficios descontados y los costos del proyecto durante el período de vigencia del proyecto posteriormente se totaliza en una medida útil que resume la comparación de los beneficios y los costos para los responsables de la toma de decisiones del proyecto en la actualidad. En general, se utilizan varias medidas para resumir las evaluaciones económicas, por ejemplo, el coeficiente costo-beneficio y el plazo de recuperación; sin embargo, las

más habituales en el caso de las comparaciones de alternativas son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

- El VAN equivale a los beneficios netos descontados menos los costos netos descontados (en la moneda actual). Cuanto más alto (por encima de cero) es el VAN, mayor es el beneficio general del proyecto menos sus costos.
- La TIR atractiva mínima es la tasa de descuento a la cual los beneficios descontados son equivalentes a los costos descontados en dólares estadounidenses actuales u otra moneda preferida (o si el valor neto actualizado del proyecto es cero) (Belli y otros, 1998)[8].

El método más adecuado depende de las circunstancias. Los organismos de ejecución del proyecto pueden optar por utilizar varias medidas para representar los resultados del análisis económico, ya que los diferentes indicadores pueden generar clasificaciones de las alternativas que resulten ligeramente diferentes.

Además de totalizar los indicadores de las evaluaciones económicas, también es importante considerar cómo se distribuyen los beneficios y los costos entre los diferentes grupos sociodemográficos y las zonas geográficas de la ciudad (véase el capítulo 2), especialmente teniendo en cuenta las diferencias en la disposición a pagar y el valor de tiempo.

Decisiones cruciales relativas a la evaluación

Las inversiones en infraestructura de transporte público de alta capacidad de larga duración y gran magnitud definen el desarrollo de la ciudad y su economía durante varias generaciones. Los instrumentos habituales de análisis económico no pueden adaptarse adecuadamente a esta situación (después de 20 años, todos los beneficios se reducen a prácticamente nada). Por ende, la elección del horizonte de evaluación y la tasa de descuento pueden tener un gran impacto en los resultados del análisis y debe realizarse cuidadosamente para considerar el valor de los proyectos que se acumulará para las generaciones futuras. Estas correcciones son imperfectas, y es importante realizar los análisis económicos en un marco multicriterio que incluya los beneficios no monetizados en consonancia con la visión de desarrollo de la ciudad a largo plazo.

Horizonte o período de evaluación. Dado que los beneficios y los costos se acumularán con el paso de los años, el horizonte de evaluación puede afectar el resultado del análisis económico y financiero. El horizonte de evaluación comienza con los primeros gastos y se extiende durante toda la vida útil de la alternativa o hasta un determinado momento futuro (a partir del cual ya no es posible obtener estimaciones de efectos significativas). Formalmente, el horizonte de

planificación debe ser equivalente a la vida económica de la opción de más larga duración incluida entre las alternativas que se evalúan. Normalmente, las alternativas de ferrocarriles urbanos son las de más larga duración. Por lo tanto, otras alternativas de transporte público de alta capacidad de menor duración quizás requieran varios ciclos de inversión de capital durante el período de evaluación más prolongado determinado por la inclusión de una alternativa de ferrocarriles urbanos (véase el recuadro 3.2). En general, la evaluación económica de alternativas de transporte público de alta capacidad debe incluir los beneficios y costos correspondientes a un período de 50 años, así como los valores residuales de activos de duración incluso más larga, en consonancia con la visión de la ciudad a largo plazo[9].

Los calendarios del proyecto propuesto y de sus alternativas deben maximizar los beneficios respecto de los costos. En algunas situaciones, los cronogramas de proyecto pueden ser muy complejos, especialmente cuando las alternativas incluyen la construcción por etapas u obras de rehabilitación de gran magnitud durante el período de análisis. Los plazos óptimos para cada alternativa pueden establecerse una vez que se han estimado los costos y beneficios. El plazo de cada opción luego puede probarse a través de análisis de sensibilidad con diferentes fechas. Esto revela el impacto de los plazos del proyecto en los resultados de la evaluación económica.

Tasa social de descuento. Además del horizonte temporal de la evaluación, otro supuesto importante que afecta los flujos de efectivo de las alternativas y, por ende, su evaluación económica y financiera es la selección de la tasa

RECUADRO 3.2.

Comparación ilustrativa de los horizontes temporales de la evaluación económica de las alternativas de BRT y transporte ferroviario

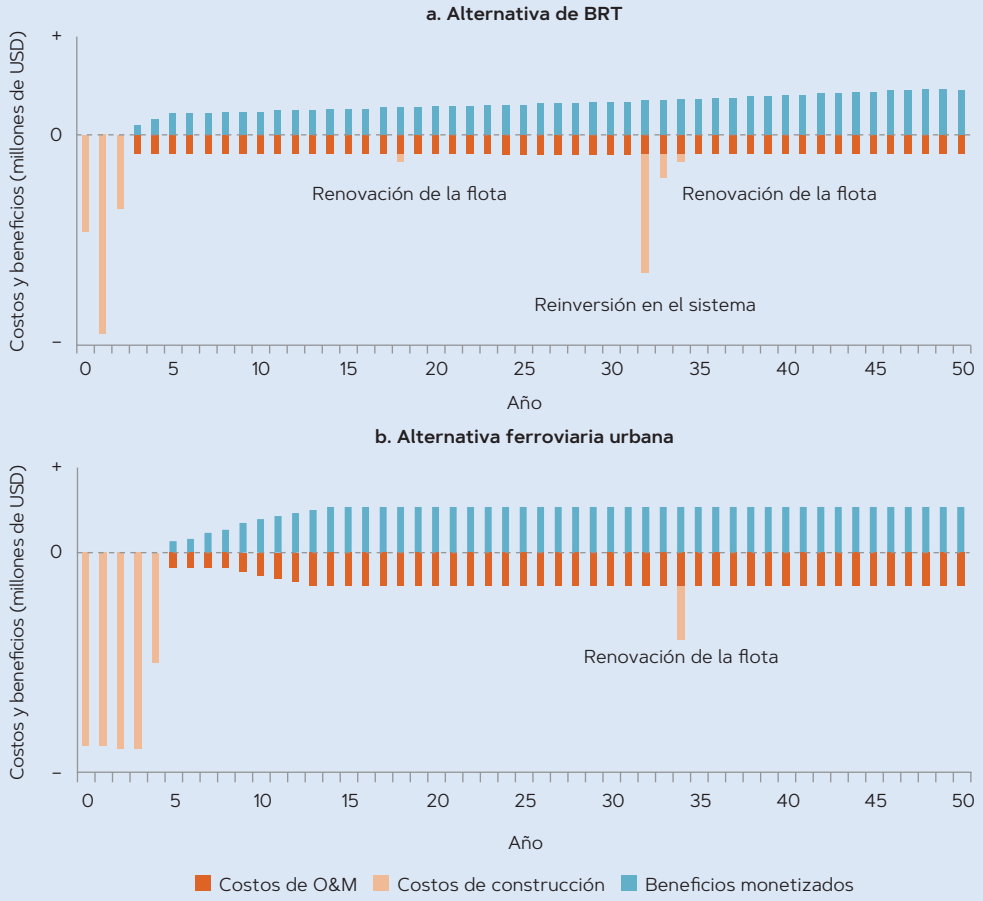
En el gráfico B3.2.1, se muestra un ejemplo de flujos de efectivo de alternativas de inversión en un sistema de autobús de tránsito rápido (BRT) (panel a) y de ferrocarriles urbanos (panel b) durante un horizonte de evaluación de 50 años. En el caso de la alternativa del BRT, muchos de los componentes de infraestructura deberán reemplazarse, lo que demandará una reinversión de capital considerable dentro del horizonte de evaluación más prolongado. Por el contrario, el sistema ferroviario urbano no requerirá una reinversión completa, siempre que los activos se mantengan cada año.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 3.2.

Comparación ilustrativa de los horizontes temporales de la evaluación económica de las alternativas de BRT y transporte ferroviario *(Continuación)*

GRÁFICO B3.2.1. Ejemplo de flujo neto de beneficios y costos de una alternativa de BRT y de ferrocarriles urbanos durante un horizonte de evaluación de 50 años



Nota: Los valores numéricos de los costos y beneficios relacionados con el sistema de ferrocarriles urbanos y el BRT dependen del sistema y del contexto; por lo tanto, los ejes verticales que representan los costos no están en la misma escala en cada panel. Esta advertencia debe incluirse si se cita el ejemplo. BRT = autobús de tránsito rápido; O&M = operación y mantenimiento.

social de descuento. La tasa social de descuento se utiliza para expresar los beneficios y costos futuros en valor actual. Las tasas de descuento son muy utilizadas en economía para reflejar el hecho de que el dinero en el futuro suele tener menos valor que el dinero en la actualidad, y el hecho de que los costos iniciales generalmente son más elevados que los beneficios futuros. La tasa de descuento refleja el valor del dinero considerando el costo de oportunidad de invertir en un proyecto determinado, en lugar de otras alternativas. La tasa debe ajustarse teniendo en cuenta la inflación prevista; de este modo, en el análisis económico normal se vinculan las tasas sociales de descuento con las perspectivas de crecimiento a largo plazo del país donde se ejecuta el proyecto.

La tasa de descuento utilizada debe reflejar no solo la probable rentabilidad de los fondos mediante el uso de la alternativa más pertinente (es decir, el costo de oportunidad del capital o la "tasa de interés por la inversión"), sino también la tasa marginal a la que las personas están dispuestas a ahorrar en el país (es decir, la tasa a la que desciende el valor del consumo con el tiempo, o la "tasa de interés por consumo") (Belli y otros, 1998). En general, las perspectivas de crecimiento económico más alto normalmente implican una tasa de descuento más elevada para un país determinado. De igual modo, las proyecciones de crecimiento económico más bajo implican una tasa de descuento más baja. Por ejemplo, si las demás condiciones no varían, una tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB) per cápita del 3 % se traduce en una tasa de descuento del 6 %, y una tasa de crecimiento del PIB per cápita del 1 % al 5 % arroja una tasa de descuento del 2 % al 10 % (Banco Mundial, 2016).

Las tasas de descuento elevadas reflejan un valor más alto de rentabilidad y costos en la actualidad que en el futuro. Esta tendencia generalmente penaliza proyectos tales como los de desarrollo de infraestructura de ferrocarriles urbanos y otras modalidades de transporte que conllevan grandes inversiones al inicio del proyecto, y en los que toda la rentabilidad prevista se materializa en el futuro durante la prolongada vida útil del sistema (véase el recuadro 3.3). Por esta razón, no se recomienda una tasa social de descuento elevada (del 12 % o más) para los proyectos de infraestructura pública de gran escala, como la mayoría de las alternativas de transporte urbano (López, 2006; Weitzman, 1998).

A medida que la tasa de descuento desciende, los proyectos con beneficios que se manifiestan a largo plazo se tornan más atractivos. Por lo tanto, los programas de inversión pública pueden ser notablemente diferentes según la tasa de descuento específica aplicada en la práctica.

En Francia, la tasa de descuento oficial es del 4 % para un período de 30 años, y con el tiempo se reduce al 2 % (Banco Mundial, 2016).

RECUADRO 3.3.

Reducción de las tasas de descuento de los proyectos de infraestructura pública con impactos a largo plazo: Reino Unido y Francia

En el pasado, en los proyectos de infraestructura del Banco Mundial, generalmente se tomaba como referencia una tasa de descuento del 12 % para calcular las tasas internas de retorno y de retorno financiera. Sin embargo, recientemente se ha observado una tasa mucho más baja, de entre el 4 % y el 8 %, en el caso de los proyectos de transporte público de gran magnitud con beneficios de larga duración.

Algunos países han comenzado a aplicar una tasa de descuento decreciente en el caso de los proyectos con amplio impacto y beneficios a largo plazo, como el desarrollo de un sistema de ferrocarriles urbanos. Por ejemplo, en el análisis de políticas e inversiones públicas, en las directrices analíticas oficiales del Gobierno del Reino Unido, se especifica una estructura de tasas de descuento que disminuye con el tiempo (véase el cuadro B3.3.1).

CUADRO B3.3.1. Estructura de tasas de descuento de las directrices oficiales del Reino Unido

PERÍODO (NÚMERO DE AÑOS)	TASA DE DESCUENTO (%)
0-30	3,5
31-75	3,0
76-125	2,5
126-200	2,0
201-300	1,5
301+	1,0

Fuente: El Tesoro de Su Majestad, 2003, pp. 97-100.

Independientemente de la tasa social de descuento elegida, se considera una buena práctica calcular el VAN del proyecto para diversas tasas de descuento. También es recomendable presentar los resultados del análisis costo-beneficio como una TIR, que es la tasa social de descuento a la que el valor actual de los beneficios del proyecto equivale exactamente al valor actual de los costos (o VAN = 0). Una TIR más alta por lo general indica que un proyecto ofrece una mejor rentabilidad de la inversión en términos monetarios actuales.

Análisis multicriterio

Los marcos de análisis multicriterio se crearon para mitigar las dificultades que enfrentan los responsables de la toma de decisiones a la hora de manejar grandes cantidades de información compleja en forma sistemática. Los marcos

formales de análisis multicriterio pueden incorporar beneficios y costos monetarios (cuantitativos) y cualitativos, y generalmente proporcionan un sistema de ponderación relativa explícita de los diferentes criterios (Departamento de Comunidades y Gobiernos Locales, 2009).

La tendencia ha sido utilizar análisis multicriterio para ampliar el programa de evaluación incorporando categorías de impactos que son difíciles de cuantificar en términos monetarios mediante una evaluación económica tradicional. Entre estos impactos se incluyen los locales (por ejemplo, la reducción de la pobreza y el acceso al empleo, la educación y la atención médica) y los de alcance mundial (por ejemplo, las emisiones de GEI y el cambio climático). Algunos de estos impactos se han incorporado en la evaluación *ex ante* de los proyectos. Muchos otros efectos son difíciles de valorar; sin embargo, pueden incluirse en un análisis si se los considera esenciales para elegir entre las distintas alternativas. Los impactos indicados a continuación son beneficios fundamentales del desarrollo del transporte público de alta capacidad que son más difíciles de cuantificar y, por lo tanto, rara vez se registran en las evaluaciones económicas:

- *Conectividad*. Con el proyecto de transporte público de alta capacidad, se pueden promover las interconexiones entre las zonas residenciales y laborales y los servicios sociales (por ejemplo, hospitales, escuelas y centros de atención médica) al reducir los obstáculos para viajar dentro de la ciudad. Si bien en la evaluación económica se cuantifica la mejora del ahorro de tiempo de viaje, no se cuantifican directamente los beneficios privados conexos que genera el aumento de la accesibilidad para los habitantes (véase el capítulo 2).
- *Crecimiento urbano compacto y aglomeración económica*. La planificación integrada del uso del suelo y el transporte puede ayudar a concentrar el crecimiento urbano a lo largo de una red de transporte público de alta capacidad modernizada (véase el capítulo 16). A lo largo de muchos años, esta estrategia tal vez pueda reducir considerablemente la intensidad del consumo de energía y las emisiones de GEI de las zonas urbanas, y mejorar el crecimiento económico al concentrar la actividad económica y facilitar las relaciones comerciales. Sin embargo, estos impactos secundarios a largo plazo no se pueden cuantificar en un análisis costo-beneficio tradicional.
- *Equidad*. Estos impactos derivan de los proyectos que aumentan la asequibilidad y la diversidad del sistema de transporte.

En el contexto de la planificación de sistemas de transporte público de alta capacidad urbano, dadas las dificultades para valorar y prever incluso los impactos básicos a largo plazo (como los tiempos de viaje), se recomienda limitar la

evaluación económica a los impactos más sencillos e incluir todo lo demás en un marco de evaluación multicriterio. En dicho marco, no solo se consideraría la perspectiva del organismo de ejecución del proyecto y del operador del sistema, sino también la experiencia y las preferencias de los posibles usuarios. Tener en cuenta la amplia disponibilidad, la accesibilidad, la asequibilidad y la aceptabilidad (seguridad, limpieza y calidad) de la alternativa de transporte para los pasajeros es fundamental cuando se considera el modo en que una alternativa de modalidad podría competir con otras modalidades y cómo se distribuirían sus numerosos beneficios (véase el capítulo 2).

Análisis financiero

En el análisis financiero se utilizan muchos de los mismos métodos de cálculo y medidas que en la evaluación económica, pero se consideran solamente las entradas (ingresos) y las salidas (costos) de efectivo previstas para toda la vida operativa del proyecto, no todos los beneficios económicos. En un análisis financiero conservador, una enorme proporción de las entradas de efectivo proviene de los ingresos tarifarios, ya sea en forma directa o mediante su asignación al proyecto a través de una liquidación de ingresos. También pueden considerarse los ingresos previstos de otras fuentes, por ejemplo, la publicidad en las estaciones, el alquiler de espacios comerciales y la explotación de la zona de la estación. Las salidas de efectivo son las inversiones de capital del proyecto, los pagos de deuda estimados y los costos de operación (incluidos los costos de mantenimiento y renovación, los impuestos y los subsidios a las tarifas).

Los resultados de un análisis financiero generalmente se expresan como una tasa interna de retorno financiera (TIRF), calculada como la tasa de descuento a la que el VAN financiero (ingresos descontados menos costos descontados en dólares actuales) del proyecto equivale a cero. Al igual que con el cálculo de la TIR, cuando se calcula la TIRF, la elección de un cronograma de proyecto razonable, un horizonte temporal para el análisis (50 años o más) y una tasa de descuento razonables es de vital importancia para obtener estimaciones significativas. Asimismo, se deben realizar análisis de sensibilidad y de escenarios para comprender el grado de incertidumbre que plantean estas estimaciones.

En el caso de los proyectos ferroviarios urbanos y otras inversiones públicas, si bien la TIR a menudo es positiva —lo que implica que, con cierta tasa de descuento positiva, los beneficios futuros superan los costos del proyecto—, la TIRF casi siempre es negativa. Este resultado refleja los costos de capital considerablemente elevados en los años iniciales que no pueden recuperarse totalmente con la venta de boletos y otros ingresos durante el período de evaluación. La vasta mayoría de las experiencias internacionales relativas a proyectos ferroviarios urbanos indica que los ingresos tarifarios no cubrirán los costos

de capital y, por lo tanto, no se recuperará el gasto público en infraestructura. Si se consideran solo los costos de operación, es posible que algunos proyectos alcancen un flujo de efectivo positivo luego de cierto tiempo; en otros casos, los ingresos tarifarios quizás no sean suficientes para cubrir los costos de operación, y será necesario incluir en el proyecto un subsidio permanente a las operaciones. Mediante el análisis financiero, se puede calcular la tarifa que el sistema debería cobrar para que la TIRF fuera positiva; sin embargo, estas tarifas con frecuencia son lo suficientemente altas como para plantear inquietudes relativas a la asequibilidad y la equidad (véase el capítulo 2).

Es fundamental planificar las finanzas de un posible operador del transporte ferroviario urbano, aunque no sea por otra razón que la de tener una idea de los subsidios a las operaciones que se necesitarán en función de las previsiones de la demanda, los ingresos y los costos de operación. En este sentido, la evaluación financiera consiste en realizar predicciones de los informes financieros básicos correspondientes, al menos, al primero, al quinto y al décimo año de operación de las alternativas que conllevan un uso intensivo de capital. Estos informes incluyen un estado de ingresos de operación, una declaración de fuentes y usos de los fondos y un balance. En primer lugar, los informes se elaboran suponiendo un 100 % de financiamiento en capital accionario, y luego se repiten para cualquier opción con una estructura de financiamiento diferente. Estos análisis financieros son elementos clave a la hora de elegir entre diferentes métodos de ejecución de proyectos y modelos de operación (véanse los capítulos 8, 9 y 10).

En la etapa de la evaluación inicial del proyecto, el análisis puede realizarse como si un solo organismo de ejecución del proyecto fuera a pagar todos los costos y recibir todos los ingresos. A medida que el proyecto continúa avanzando hacia la licitación y se estudian diferentes planes de adquisiciones, tal vez sea necesario considerar la viabilidad financiera del proyecto desde la perspectiva de un organismo público de ejecución del proyecto y un posible socio privado en la construcción o la operación del proyecto. En este caso, es posible que el análisis deba incluir flujos de efectivo entre las entidades públicas y privadas, así como también entre las entidades y el proyecto.

Análisis fiscal

La factibilidad financiera de los proyectos ferroviarios urbanos debe demostrarse en relación con la construcción y con la operación, en un contexto con restricciones fiscales. Para esta demostración, no solo se necesita un análisis financiero del proyecto, sino también un análisis fiscal de la ciudad y del país receptores para estimar el impacto del desarrollo de ferrocarriles urbanos y otras alternativas en los costos y los ingresos de diferentes niveles y sectores

del Gobierno, y para determinar la asequibilidad de un proyecto para la región metropolitana[10]. La asequibilidad de un proyecto dependerá, en gran medida, del método de adquisición (contratación) seleccionado para ejecutar el proyecto (véanse los capítulos 8 y 9), las fuentes disponibles de fondos y financiamiento (véase el capítulo 10), y los planes de operación y mantenimiento del sistema (véase el capítulo 13). Por lo tanto, el análisis fiscal debe ajustarse siguiendo el nivel de detalle del diseño de la alternativa y debe orientarse a examinar las normas, los procedimientos y las leyes de adquisiciones que se apliquen al proyecto en particular, y el modo en que las diferentes disposiciones en materia de adquisiciones podrían hacer posible la optimización de recursos para lograr los objetivos de desarrollo de la alternativa. Habida cuenta de la escala y el impacto de los proyectos de transporte público de alta capacidad, los Gobiernos quizás deban considerar la posibilidad de formular nuevas leyes y regulaciones para promover la construcción y las operaciones de tales proyectos.

Examen de los resultados

En la mayoría de los casos, el diseño (y la evaluación) de alternativas en el contexto de toma de decisiones relativas al transporte urbano es responsabilidad de consultores contratados por el Gobierno de la ciudad o el país receptor. En casos excepcionales, la labor es llevada a cabo por los servicios técnicos de la ciudad o por instituciones nacionales. Al final de esta etapa, para cada alternativa, habrá un diseño de proyecto con la previsión correspondiente de los costos de inversión y operación durante un período equivalente a la vida económica de la alternativa de mayor duración y un escenario de demanda del mismo período en el que se establecen los beneficios sociales de la inversión. El nivel de detalle puede ser bajo para la evaluación inicial de alternativas, pero más alto cuando se complete la evaluación más pormenorizada. Cada alternativa se presenta como una secuencia anual de costos-beneficios y flujos de efectivo para cada año del horizonte de planificación adoptado.

La planificación de un sistema de ferrocarriles urbanos y de otros sistemas de transporte público urbano de gran escala conlleva una gran inversión y una amplia variedad de posibles consecuencias. Además, se deben formular numerosos supuestos para presentar cada alternativa como una serie anual de costos y beneficios o ingresos. Una vez que las evaluaciones iniciales estén terminadas, es fundamental solicitar un examen técnico independiente del análisis. Son muchas las formas en que dicho examen puede organizarse y financiarse. Habitualmente, la ciudad o el país receptor contrata consultores independientes para que realicen los estudios de factibilidad previa y de factibilidad y, al mismo tiempo,

establece un comité de seguimiento y control de calidad con una combinación de expertos políticos y técnicos. En un mecanismo habitual en el contexto de los bancos de desarrollo, el comité de examen también incluye miembros seleccionados por las entidades de cofinanciamiento.

El programa del examen técnico de los primeros resultados del análisis de alternativas es amplio, pero las proyecciones de los costos de inversión y la cantidad de usuarios ocupan el primer lugar en la lista, dado que estas categorías inclinan la balanza de los resultados de cualquier alternativa. Por lo tanto, los expertos seleccionados para este examen deben tener una experiencia considerable, acceso a datos sobre los costos de sistemas comparables e información transparente sobre la calidad del modelo de demanda basada en el año de referencia, incluida su capacidad de repetir las relaciones actuales entre los factores de uso del suelo y la economía del hogar, por una parte, y la distribución de viajes por modalidad y rutas, por la otra, como así también los supuestos en que se basan las previsiones a más largo plazo. Es evidente que los números derivados del modelo basado en el año de referencia son los más creíbles. La credibilidad de las previsiones para los años siguientes disminuye de forma ininterrumpida, y se torna una mera especulación más allá de los 10 años a pesar de la aparente complejidad del análisis.

Tratamiento de la incertidumbre en la evaluación de alternativas

En un mundo determinista con leyes conocidas y sin incertidumbre en el contexto político, económico o social del sistema de transporte urbano, el resultado final de la evaluación de alternativas (complementado con análisis multicriterio e inspeccionado por evaluadores independientes) podría presentarse a los responsables de la toma de decisiones como costos y beneficios de un solo valor, para su consideración. Sin incertidumbre, una sola opción superaría a todas las demás alternativas y, en esencia, mediante la evaluación se determinaría qué opción se implementa. En el mundo real, las variables subjetivas y la aleatoriedad relativa a la forma en que la demanda y la oferta futuras evolucionarán obligan a los analistas a tener en cuenta el riesgo y la incertidumbre al evaluar cada alternativa, sobre todo en lo que respecta a las previsiones del costo de construcción y el número de pasajeros.

Los dos enfoques principales para abordar el riesgo y la incertidumbre en la evaluación de alternativas para el proceso de toma de decisiones son el análisis de sensibilidad y los enfoques probabilísticos más avanzados.

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad manual es un instrumento simple, eficaz y transparente para comprobar la solidez de la primera evaluación de alternativas. Consiste en repetir el análisis con valores diferentes de los principales datos del proceso de diseño y prueba, sujetos a incertidumbre. Estos datos pueden ser categorías generales (por ejemplo, costos de inversión, cantidad de usuarios e ingresos tarifarios), o valores diferentes de los parámetros importantes adoptados en el primer análisis (por ejemplo, la tasa de descuento, el momento de la inversión, la duración del período de construcción y el valor del tiempo de viaje). Dado el impacto de los costos de capital, los costos de operación y mantenimiento y el número de pasajeros (relacionados con los ingresos y numerosos beneficios) en la viabilidad económica y financiera de cualquier alternativa de transporte, es importante considerar el impacto de, al menos, un margen de error de +/– 20 puntos porcentuales en las previsiones de los costos y la demanda (crecimiento). Estos impactos deben examinarse de forma individual, pero también en escenarios de riesgo combinado, por ejemplo, en un futuro donde la demanda inicial es menor y los costos de construcción son mayores de lo previsto originalmente.

Una variante de este método es determinar los "valores de intercambio" de los principales datos o supuestos de la evaluación. El valor de intercambio generalmente se define como el punto en el que el VAN de una alternativa equivale a cero o el punto en el que cambia la clasificación relativa de alternativas. La forma más simple de realizar un análisis de sensibilidad es centrarse solo en el flujo neto de beneficios y costos que refleje las diferencias entre dos alternativas procedentes del análisis socioeconómico, es decir, los costos y beneficios anuales totales. O bien, con un enfoque más desglosado, se retrocede hasta el punto en que se insertaron los principales datos numéricos en las estimaciones de la demanda y el costo en las que se basó el análisis socioeconómico original. El método manual es práctico solo cuando el número de variables y valores comprobados es bajo; de lo contrario, el método se torna engorroso y los resultados, confusos.

Métodos probabilísticos

En un enfoque probabilístico, la selección manual de valores comprobados de las variables se reemplaza con la generación aleatoria de valores. El método que más se utiliza habitualmente para evaluar la incertidumbre en los análisis de alternativas de transporte público de alta capacidad es la simulación de Monte Carlo. Para implementar este enfoque, el analista especifica la distribución de probabilidades de cada variable que se comprueba y las medidas de tendencia central (por ejemplo, rango y moda). A continuación, se emplea un algoritmo de generación de números aleatorios para crear un gran conjunto de posibles escenarios basados en valores probables de variables inciertas, lo que da como resultado una

distribución de probabilidades del criterio de decisión (por ejemplo, la tasa marginal de rentabilidad) (Mackie, Nellthorp y Laird, 2005). El método de Monte Carlo puede ser muy concluyente en el sentido de que señala una opción de diseño como la más atractiva. La importancia de las conclusiones depende de si las distribuciones de probabilidades seleccionadas son defendibles.

Un nuevo enfoque probabilístico es la "toma de decisiones firmes" o la "toma de decisiones en condiciones de gran incertidumbre", que ha comenzado a utilizarse en sectores que enfrentan grandes incertidumbres a nivel internacional, por ejemplo, los sectores de recursos hídricos y energía (Bonzanigo y Kalra, 2014; Lempert y otros, 2013). En este enfoque, el analista debe identificar las principales variables con incertidumbre y el rango de valores previsto para cada una, pero no tiene que especificar la forma de cada distribución. Luego, un algoritmo genera cientos de escenarios futuros, y realiza un muestreo uniforme de cada rango para comprobar la solidez de los resultados de la evaluación con respecto a las incertidumbres combinadas. Este método no es ni pretende ser concluyente, ya que no pondera los escenarios o posibles futuros según las probabilidades de que se produzcan. Los escenarios que el algoritmo produce se utilizan para identificar situaciones de éxito o vulnerabilidad de las opciones de diseño que se evalúan, lo que permite que los analistas y los responsables de la toma de decisiones trabajen en forma conjunta para determinar planes de ejecución de proyectos sólidos y flexibles.

El uso de uno o más de estos métodos es obligatorio en el proceso de evaluación de alternativas de transporte público de gran escala que están sujetas a incertidumbres importantes en varias categorías socioeconómicas y técnicas. Según el contexto local, quizás resulte práctico utilizar el método manual en las primeras etapas del proceso (cuando se comparan numerosas alternativas a un nivel de borrador del diseño) y aplicar un método probabilístico en la etapa siguiente (cuando el número de alternativas es menor y los diseños son de mejor calidad). Sea cual fuere el método que se utilice, los analistas no deben presentar el resultado a los responsables de la toma de decisiones de manera decisiva; en cambio, deben señalar qué opciones ofrecen el mejor desempeño en ciertos escenarios futuros (algunos de los cuales quizás tengan más probabilidades de ocurrir que otros).

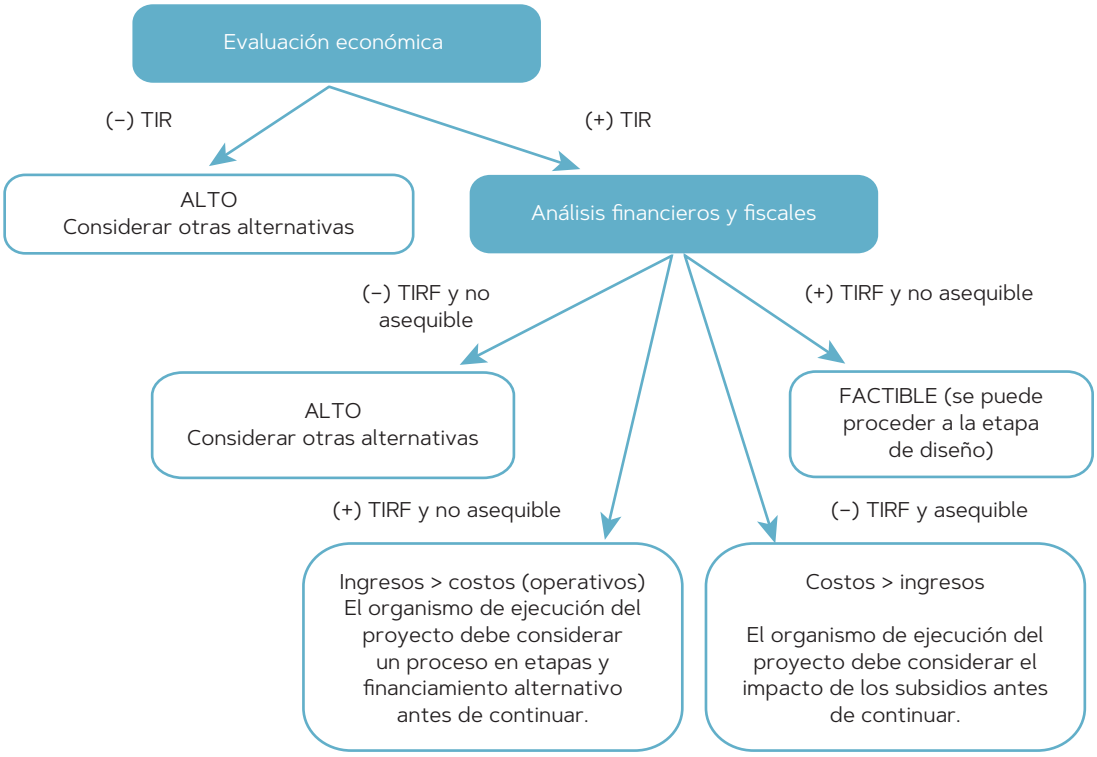
El camino desde el estudio hacia la decisión

El proceso lógico de toma de decisiones que se presenta en este capítulo comienza con los estudios de diagnóstico del sistema de transporte urbano y la elaboración de una estrategia de movilidad urbana a nivel metropolitano, y luego

continúa con la generación y la evaluación iterativa de las alternativas de inversión en condiciones de incertidumbre a nivel del corredor. La evaluación de cada alternativa de inversión comienza con una evaluación económica, a la que le sigue un análisis financiero y fiscal (y quizás un análisis multicriterio de otras externalidades positivas y negativas difíciles de cuantificar). En el gráfico 3.4 se presenta un árbol de decisiones que muestra cómo sintetizar las conclusiones de cada uno de estos análisis para determinar qué alternativas de inversión son factibles y cuáles requieren un análisis más profundo antes de pasar a la etapa final de selección y diseño del proyecto.

Al dividir el proceso en etapas, los responsables de la toma de decisiones que consideran una inversión en transporte pueden beneficiarse de un análisis de diferentes alternativas de transporte y del conocimiento de las ventajas y

GRÁFICO 3.4. Diagrama de un análisis de alternativas para decidir cuáles alternativas son factibles y cuáles deben considerarse con más detenimiento



Nota: TIR = tasa interna de retorno ; TIRF= tasa interna de retorno financiera.

desventajas de las diferentes posibilidades, pero invertir solamente el tiempo y el costo necesarios para un estudio exhaustivo sobre un proyecto que realmente pueda ejecutarse. Este proceso en etapas puede reducir el costo a la hora de decidir si se elabora o no un proyecto ferroviario urbano, y también puede reducir el tiempo necesario, de modo de ajustarse a un período limitado de oportunidad política o económica. Realizar un seguimiento en formato electrónico de los diversos datos que se han preparado y de los resultados de distintos análisis es fundamental para mantener la transparencia y la credibilidad del proceso de toma de decisiones y puede facilitar el examen externo de los resultados y otros estudios en caso de que se modifique el entorno político o económico.

Al final de este análisis de alternativas, los responsables de la toma de decisiones identifican una alternativa provisionalmente preferida para el corredor en particular y toman la decisión de invertir decenas de millones de dólares estadounidenses en el diseño detallado de la alternativa de transporte provisionalmente preferida (gráfico 3.1). El resto de este manual está dirigido a los responsables de la toma de decisiones que determinan que un sistema ferroviario urbano es la alternativa provisionalmente preferida para un corredor determinado.

En la práctica, en muchos países de ingreso bajo y medio, la inversión preferida generalmente se elige mediante un proceso y un diálogo informales, no a través de un análisis cuantificado de costos y beneficios (Bonzanigo y Kalra, 2014). Incluso en países de ingreso alto, los estudios *ex post* de numerosos proyectos públicos de gran magnitud muestran un proceso de planificación que solo sigue nominalmente los pasos descritos en este manual y es susceptible al sesgo de favorecer una propuesta específica. En conjunto, estas deficiencias indican que hay margen para introducir mejoras en la aplicación adecuada y rigurosa de análisis de alternativas en el proceso de toma de decisiones en materia de transporte.

Si los estudios que se llevan a cabo están expuestos a un entorno político y económico que favorece claramente una alternativa, el proceso corre el peligro de convertirse en una "creación de pruebas basadas en decisiones", en lugar de una "toma de decisiones basadas en pruebas" (Kain, 1992). Por lo tanto, es importante proporcionar la autonomía de análisis necesaria para asegurar la evaluación de alternativas, más que la justificación de una solución elegida previamente (Flyvbjerg, 2009). En este sentido, lo esencial es la relación entre los estudios analíticos y la toma de decisiones. Los analistas que realizan la evaluación de alternativas no toman la decisión final de invertir millones o miles de millones en un proyecto de transporte público determinado, sino que son los funcionarios públicos municipales y las entidades de cofinanciamiento quienes deciden qué proyecto se llevará adelante. A estos funcionarios y entidades de

cofinanciamiento se les deben informar los resultados de las evaluaciones técnicas de forma tal que se destaquen claramente las soluciones de compromiso entre los costos y beneficios, y se demuestre cómo se enmarca el proyecto en el entorno político y económico actual y la estrategia de movilidad urbana más amplia.

En un mundo incierto, con grandes sumas de dinero en juego y horizontes de planificación muy prolongados, es recomendable considerar que todas las previsiones a largo plazo relacionadas con sistemas sociales muy interactivos son provisionales y generan duda, y que todos los resultados de un solo valor son falsos. Esto no es motivo para paralizarse en la toma de decisiones o rechazar los enfoques analíticos de planificación de proyectos. En cambio, es motivo para rechazar un enfoque de planificación basado en la "justificación" y para adoptar un proceso en el que los analistas y los responsables de la toma de decisiones, en conjunto, comparen los escenarios con pruebas disponibles para determinar si son lo suficientemente verosímiles como para tomar medidas de protección (Bonzanigo y Kalra, 2014, p. 7). En esta colaboración entre los analistas y los responsables de la toma de decisiones, deben tomarse las precauciones necesarias para garantizar que la evaluación no se convierta en un proceso de creación de pruebas basadas en decisiones.

Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo, se presenta el proceso de toma de decisiones "ideal" para determinar si se elabora o no un proyecto ferroviario urbano. Este proceso consta de seis pasos:

1. Realizar estudios de diagnóstico del transporte urbano.
2. Elaborar una estrategia de movilidad urbana integrada e identificar los corredores prioritarios.
3. Generar alternativas de inversión para un corredor determinado.
4. Realizar una evaluación comparativa de las alternativas.
5. Considerar la incertidumbre.
6. Comunicar los resultados del análisis a los responsables de la toma de decisiones.

En cada uno de estos pasos, se requiere la recopilación cuidadosa de datos y la aplicación de diferentes técnicas de análisis para examinar las respuestas por

el lado de la demanda y de la oferta a las posibles intervenciones en materia de transporte. Los detalles de estos métodos se presentan en este capítulo. En esta conclusión, se resumen los mensajes generales esenciales.

Se deben realizar estudios exhaustivos de planificación antes de tomar la decisión de comenzar con los estudios de ingeniería, el diseño o las adquisiciones de todo proyecto de transporte público de alta capacidad. Solo después de realizar un cuidadoso estudio de diagnóstico y considerar las alternativas, los responsables de la toma de decisiones estarán en condiciones de determinar que un proyecto de transporte público de alta capacidad, como un sistema de ferrocarriles urbanos, es la inversión adecuada para abordar las necesidades de movilidad y accesibilidad de los residentes de la ciudad. Estos estudios exhaustivos de planificación y análisis de alternativas implican una inversión considerable (del orden de millones de dólares estadounidenses), pero son necesarios antes de iniciar los estudios de ingeniería y el diseño (del orden de decenas de millones de dólares estadounidenses).

El análisis de alternativas es una inversión inicial necesaria para maximizar la rentabilidad socioeconómica de cualquier inversión en un sistema de ferrocarriles urbanos, *y debe llevarse a cabo sin inclinarse por ninguna modalidad.* Un análisis profundo de las alternativas es fundamental para determinar qué tipo de inversión en transporte ofrece el mayor beneficio social y económico para la ciudad (en un entorno con restricciones fiscales). Este análisis de alternativas debe efectuarse antes de tomar la decisión de diseñar un proyecto de transporte específico. Si la opción de un sistema ferroviario es la alternativa más adecuada, esta conclusión debe demostrarse mediante el análisis, y no determinarse de antemano. Este requisito es especialmente pertinente habida cuenta del tamaño y la complejidad de las soluciones de transporte público de alta capacidad, en particular, los ferrocarriles urbanos, y es incluso más importante en el caso de los países de ingreso bajo y medio, donde el costo de oportunidad para la sociedad es elevado.

Los proyectos de transporte público de alta capacidad —en particular los relativos a ferrocarriles urbanos— son complejos y de larga duración, y producen beneficios de distribución amplia que suelen ser difíciles de registrar desde el punto de vista monetario para la evaluación del proyecto. En las evaluaciones de estos proyectos, deben incorporarse las siguientes recomendaciones:

- horizontes de planificación prolongados y tasas de descuento bajas o descendentes para la evaluación económica;
- la cuantificación del ahorro de tiempo de viaje y los beneficios directos para los usuarios en la evaluación económica, y el análisis de las externalidades económicas y sociales más amplias como parte del marco del análisis multicriterio;

- la consideración de la factibilidad financiera y fiscal del proyecto a corto y a largo plazo;
- el tratamiento de las incertidumbres de las estimaciones mediante análisis de sensibilidad o enfoques probabilísticos más avanzados.

Habida cuenta de que el proceso ideal de toma de decisiones generalmente difiere del que se aplica en la práctica, los responsables de la toma de decisiones deben centrarse en crear un marco integral y objetivo en el que se consideren alternativas de varias dimensiones. En este capítulo se da por sentado que el proceso de toma de decisiones se lleva a cabo en una secuencia lógica: comienza con el diagnóstico de los problemas, continúa con el diseño de alternativas correctivas y finaliza con una evaluación comparativa. Si bien esta secuencia es ideal para elegir la inversión en transporte que maximice los beneficios y minimice los costos, en la práctica la decisión de invertir en un proyecto de transporte público de alta capacidad generalmente se basa en el presupuesto disponible y la economía política. La evaluación cuidadosa es importante para respaldar el proceso de toma de decisiones y obtener el máximo rendimiento de las inversiones en transporte de gran magnitud, pero no debe impedir la acción. No hacer nada o demorar la decisión de invertir en un proyecto de transporte público de alta capacidad por muchos años puede no ser aceptable. Por lo tanto, se debe alcanzar un cuidadoso equilibrio entre el tiempo disponible para el análisis y las demás consideraciones relativas a la toma de decisiones.

Notas

Los autores desean agradecer a los revisores Ramiro Alberto Ríos, Wendy Jia, Martha Lawrence, Arturo Ardila-Gómez y Kavita Sethi del Banco Mundial; Juan Antonio Márquez Picón del Metro de Madrid, Darío Hidalgo del Instituto de Recursos Mundiales (WRI); Gerhard Menckhoff del Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo (ITDP), y Dionisio González e Yves Amsler de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. Véase, por ejemplo, el proyecto Digital Matatus en Nairobi, Kenya (http://www.digitalmatatus.com/about.html).
2. Los costos de operación también son importantes, pero están sujetos a un alto grado de control administrativo y, por ende, presentan un nivel de incertidumbre mucho más bajo. Estos costos se analizan en detalle en el capítulo 13.
3. Los datos de censos de varios años sobre zonificación y compatibilidad de uso, cuando están disponibles, son una fuente inigualable para investigar tendencias detalladas en lo que respecta al desarrollo de las ciudades. Estos datos permiten que los especialistas en planificación urbana identifiquen las zonas en las que se debe promover o limitar el empleo o el aumento de la población en relación con la planificación del uso del suelo y la oferta de transporte. Esta información no solo es útil para diseñar o comparar alternativas de transporte público de alta capacidad, sino también para programar el desarrollo de toda la red de transporte urbano durante un período de dos o tres décadas.

4. La Unión Internacional de Transporte Público ofrece directrices similares mediante tres pasos: surgimiento, factibilidad y diseño.
5. El mínimo que quede también puede ser considerable, dadas las incertidumbres en las adquisiciones y la construcción.
6. Según el país y el sector, se utilizan numerosos términos para describir la evaluación económica, por ejemplo, análisis socioeconómico y análisis costo-beneficio. En este manual, el término "evaluación económica" se utiliza cuando todos los beneficios que pueden expresarse en términos monetarios se comparan con los costos; el término "evaluación multicriterio" se utiliza cuando se incluyen otros factores en términos no monetarios.
7. Todos estos beneficios son, en realidad, reducciones de los costos o de los impactos negativos del transporte.
8. Para todas las alternativas, la determinación de la TIR se refiere a un par específico de alternativas. En otras palabras, es una medida comparativa y exige que las alternativas se evalúen respecto de un "caso de referencia", que generalmente es la alternativa de gestión del tráfico de más bajo costo. Dado que el grado de confianza en las previsiones del tráfico y los ingresos es más alto en los primeros años, una opción es utilizar la rentabilidad del primer año como una medida resumida adicional en la evaluación económica.
9. Habitualmente, la labor se simplifica seleccionando un horizonte de planificación más corto, por ejemplo, 20 años, e insertando un valor residual para las opciones de más larga duración. La justificación para hacerlo es que la aplicación de descuentos, especialmente cuando se utilizan tasas de descuento elevadas, reduce rápidamente el valor de los costos e ingresos futuros. Esta es una de varias deficiencias de la práctica actual relativa al diseño y la evaluación de opciones cuando el conjunto de decisiones incluye opciones con vidas útiles de los sistemas muy diferentes.
10. En el análisis fiscal, se considera la asequibilidad del proyecto desde la perspectiva del Gobierno. La asequibilidad desde la perspectiva del usuario se analiza como parte del marco de "las cuatro A", en el capítulo 2.

Bibliografía

Belli, Pedro, Jock Anderson, Howard Barnum, John Dixon y Jee-Peng Tan (1998), *Handbook on Economic Analysis of Investment Operations*, nota sobre el transporte TRN 7, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents1.worldbank.org/curated/en/792771468323717830/pdf/298210REPLACEMENT.pdf

Boarnet, Marlon G. (2007), *Conducting Impact Evaluation in Urban Transport*, Doing Impact Evaluatin Series 5, Banco Mundial, Washington, DC. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/652821468778784953/conducting-impact-evaluations-in-urban-transport.

Bonzanigo, Laura y Nidhi Kalra (2014), Making Informed Decisions in an Uncertain World—A Short Demonstration, documento de trabajo sobre investigaciones relativas a políticas de desarrollo 6765, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/465701468330278549/Making-informed-investment-decisions-in-an-uncertain-world-a-short-demonstrations.

Departamento de Comunidades y Gobiernos Locales (2009), *Multi-Criteria Analysis: A Manual*, Londres: Departamento de Comunidades y Gobiernos Locales, http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf.

Flyvbjerg, Bent (2007), "Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure", en *Transportation Planning and Technology* 30 (1): pp. 9-30.

———. (2009), "Survival of the Unfittest: Why the Worst Infrastructure Gets Built—and What We Can Do about It", en *Oxford Review of Economic Policy* 25 (3): pp. 344-67.

Administración Federal de Transporte (FTA) (2005), *Framework for Alternatives Analysis*, documento de uso interno, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Washington, DC.

———. (2009), *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*, Washington, DC: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/CBRT_2009_Update.pdf.

Gwilliam, William (2002), *Cities on the Move*. A World Bank Urban Transport Strategy Review, Washington, DC: Banco Mundial, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/928301468762905413/cities-on-the-move-a-world-bank-urban-transport-strategy-review

Halcrow Fox (en asociación con Traffic and Transportation Consultants) (2000), *Mass Rapid Transit in Developing Countries: Final Report*. A World Bank Urban Transport Strategy Review, Washington, DC: Banco Mundial, https://pdf4pro.com/cdn/department-for-international-development-world-bank-36fc57.pdf

El Tesoro de Su Majestad (2003), *The Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, Londres: El Tesoro de Su Majestad, https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20080305121602/http://www.hm-treasury.gov.uk/media/3/F/green_book_260907.pdf

Ho, Eric P. (2016), "Demand Forecasting in Urban Transport", presentación en "Transport and ICT Forum", Banco Mundial, Washington, DC, marzo.

Kain, John F. (1992), "The Use of Strawmen in Economic Evaluation of Rail Transport Projects", en *American Economic Review* 82 (2): pp. 487-93.

Lempert, Robert J., Steven W. Popper, David Groves, Nidhi Kalra, Jordan R. Fischbach, Steven C. Bankes, Benjamin P. Bryant, Myles T. Collins, Klaus Keller, Andrew Hackbarth, Llyod Dixon, Tom LaTourrette, Robert T. Reville, Jim W. Hall, Christophe Mijere y David J. McInerney (2013), *Making Good Decisions without Predictions: Robust Decision Making for Planning under Deep Uncertainty*, resumen de investigación RB-9701, RAND Corporation, Santa Mónica, California, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_briefs/RB9700/RB9701/RAND_RB9701.pdf.

López, Humberto (2006), *The Social Discount Rate: Estimates for Nine Latin American Countries*, documento de trabajo sobre investigaciones relativas a políticas de desarrollo 4639, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6659.

Mackie, Peter, John Nellthorp y James Laird (2005), *Risk and Uncertainty Analysis*. Nota sobre el transporte TRN 7, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/860361468140399316/Risk-and-uncertainty-analysis.

May, Anthony D. (2005), *Developing Sustainable Urban Land Use and Transport Strategies: A Decision Makers' Guidebook*, Programa de Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Comisión Europea, Bruselas, https://pdfs.semanticscholar.org/b285/68d089354fb8cea557827c080dbe76be42dd.pdf?_ga=2.3133936.1550266559.1597263148-940615114.1597263148

May, Anthony D. y M. Roberts (1995), "The Design of Integrated Transport Strategies", en *Transport Policy* 2 (2): pp. 97-105, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0967070X9591989W.

Mitrić, Slobodan (1997), *Approaching Metros as Potential Development Projects* (TWU-28), Washington, DC: Banco Mundial, http://www.rhd.gov.bd/documents/externalpublications/worldbank/transsectpub/contents/documents/b50.pdf

———. (1998), "Staging Economic and Financial Evaluation of Metros in Developing Countries", presentación en *Urban Transport Policy: A Sustainable Development Tool*, Ciudad del Cabo, Sudáfrica, 21 al 25 de septiembre.

Naess, Peter, Jeppe Astrup Andersen, Morten Skou Nicolaisen y Arvid Strand (2015), "Forecasting Inaccuracies: A Result of Unexpected Events, Optimism Bias, Technical Problems, or Strategic Misinterpretation?", en *Journal of Transport and Land Use* 8 (3): pp. 39-55, https://www.jtlu.org/index.php/jtlu/article/view/719.

Nicolaisen, Morten Skou y Patrick Arthur Driscoll (2014), "Ex-Post Evaluations of Demand Forecast Accuracy: A Literature Review", en *Transport Reviews* 34 (4): pp. 540-57, http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2014.926428.

Ortúzar, Juan de Dios y Luis Willumsen (2011), *Modelling Transport*, 4.ª edición, Nueva York: Wiley.

Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito (TCRP) (2010), *Estimating Soft Costs for Major Public Transportation Fixed Guideway Projects*, informe 138. Washington, DC: Transportation Research Board, http://www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/2010_tcrp_rpt_138.pdf.

Comité de Economía del Transporte (2010), *Transportation Benefit-Cost Analysis*, Transportation Research Board, Washington, DC, http://bca.transportationeconomics.org/.

ONU-Hábitat (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos) (2013), *Planning and Design for Sustainable Urban Mobility: Global Report on Human Settlements*. Nairobi, Kenya: ONU-Hábitat, https://unhabitat.org/planning-and-design-for-sustainable-urban-mobility-global-report-on-human-settlements-2013/.

Vuchic, Vukan R. (2007), *Urban Transit Systems and Technology*, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

Vuchic, Vukan R. y Jeffrey M. Casello (2007), *Transit System Planning*, Washington, DC: Institute of Transportation Engineers.

Weitzman, Martin L. (1998), "Why the Far-Distant Future Should Be Discounted at Its Lowest Possible Rate", en *Journal of Environmental Economics and Management* 36: pp. 201-08, http://scholar.harvard.edu/files/weitzman/files/why_far-distant_future.pdf.

Banco Mundial (2011), *Railway Reform: Toolkit for Improving Rail Sector Performance*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/616111469672194318/Railway-reform-Toolkit-for-improving-rail.

———. (2016), Discounting Costs and Benefits in Analysis of World Bank Projects. nota de orientación del *Departamento de Políticas de Operaciones y Calidad* (OPSPQ) [solo para uso interno], Banco Mundial, Washington, DC.

Wright, Lloyd y Karl Fjellstrom (2003), "Module 3a. Mass Transit Options", en *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policymakers in Developing Cities*, Fráncfort: GTZ (Deutsche Gasellschaft für Technische Zusammenarbeit), GmbH, https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/Sustainable-Transport-Mass-Transit-Options.pdf.

Lecturas adicionales

Fouracre, Phil, Christian Dunkerley y Geoff Gardner (2003), "Mass Rapid Transit Systems for Cities in the Developing World", en *Transport Reviews* 23 (3): pp. 229-310.

Hidalgo, Darío, Dominic Pasquale Patella, Leonardo Cañón y Juan Miguel Velásquez (2016), "How Much Does a Metro Cost? A Continuing Saga, Insights from Recently Completed Projects", presentación en la decimocuarta "Conferencia Internacional de Investigación sobre Transporte", Universidad Tongji, Shanghái, 10 al 15 de julio.

Lyons, Glenn (2016), "Transport Analysis in an Uncertain World", en *Transport Reviews* 36 (5): pp. 553-57, http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01441647.2016.1194613.

Mackie, Peter, John Nellthorp y James Laird (2005a), Notes on the Economic Evaluation of Transport Projects, nota sobre el transporte TRN 5, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/360501468327922938/Notes-on-the-economic-evaluation-of-transport-projects.

———. (2005b), Notes on the Economic Evaluation of Transport Projects—When and How to Use NPV, IRR, and Modified IRR, nota sobre el transporte TRN 6, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/234331468329400081/Notes-on-economic-evaluation-of-transport-projects-when-and-how-to-use-NPV-IRR-and-modified-IRR.

———. (2005c), Notes on the Economic Evaluation of Transport Projects: Fiscal Impacts, nota sobre el transporte TRN 8, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/565081468153554898/Notes-on-the-economic-evaluation-of-transport-projects-fiscal-impacts.

———. (2005d), Demand Forecasting Errors. nota sobre el transporte TRN 12, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11797.

Vuchic, Vukan R. (2004), Urban Transit Operations, Planning, and Economics, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

Zhang, Ming (2009), "Bus Versus Rail: Meta-Analysis of Cost Characteristics, Carrying Capacities, and Land Use Impacts", en *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1: pp. 87-95, http://dx.doi.org/10.3141/2110-11.

CAJA HUANCAYO
Bata
LIQUI
DACIÓN
ESTAMOS
AQUÍ
Bata
Bata
BBVA Continental
Pasada
KOMATSU
2003
350
LC
Pasada
KOMATSU

4 PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO

Ramón Muñoz-Raskin, Joanna Moody y
Edward Fleischman

Los proyectos ferroviarios urbanos son extremadamente complejos. Si bien pueden producirse incrementos en los costos, demoras en el calendario de trabajo y cambios en el alcance, estos imprevistos pueden controlarse y mitigarse con una planificación meticulosa de la gestión del proyecto. Según la bibliografía del tema, en la mayoría de los proyectos de infraestructura se incurre en una subestimación de los costos proyectados, y el costo real de los proyectos ferroviarios es, en promedio, un 45 % más elevado que la estimación original (Flyvbjerg, Bruzelius y Rothengatter, 2003, p. 15). La planificación de la gestión del proyecto es necesaria para prevenir estos inconvenientes o, en caso de que sean inevitables, para minimizar su impacto en la ejecución del proyecto. A través de la planificación de la gestión del proyecto, se establece la estructura de control y los mecanismos necesarios para que el personal responsable complete el proyecto respetando el presupuesto, el alcance y el cronograma previstos, y cumpla con las especificaciones y los planes establecidos para el proyecto. La práctica demuestra que, sin una buena planificación de la gestión, la ejecución del proyecto puede sufrir consecuencias catastróficas. A fin de mitigar todos los desafíos posibles, se debe dedicar tiempo a la planificación de la gestión, tanto al inicio como a lo largo de todo el proceso de elaboración del proyecto.

Fotografía: Personal del Banco Mundial supervisa obras de construcción, línea 2 del metro de Lima.
Fuente: Julio César Casma, Banco Mundial.

La planificación de la gestión del proyecto constituye una herramienta esencial para lograr la fiabilidad del proyecto y su ejecución exitosa. Permite establecer los mecanismos institucionales necesarios para garantizar la rendición de cuentas. También permite determinar las tareas necesarias para la gestión y la ejecución de los grandes proyectos ferroviarios urbanos, incluida la definición de los procedimientos que regirán la totalidad de los aspectos técnicos. Es necesario que el nivel de planificación de la gestión del proyecto sea acorde a la magnitud y la complejidad del proyecto, y a la capacidad técnica y las aptitudes del equipo del proyecto y de los grupos de interés. Si bien los esfuerzos inherentes a los costos y la dotación de personal necesarios para la planificación de la gestión dependen de cada proyecto, estos costos deben estimarse cuidadosamente e incluirse desde un primer momento en el presupuesto del proyecto.

Además de contribuir a la gestión del diseño y a la construcción del proyecto, la planificación de la gestión aporta información a la estructura administrativa que tendrá a su cargo la implementación de estos procedimientos. Por tales motivos, la planificación de la gestión del proyecto es necesaria en todos los pasos de la elaboración y la ejecución del proyecto y es un enfoque "vivo" que varía en términos de énfasis y detalle a medida que el proyecto avanza por las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha y operación. La planificación de la gestión debe anticiparse a la elaboración del proyecto, estableciendo la estructura y el control necesarios para el próximo paso (o los próximos pasos).

La planificación de la gestión del proyecto puede ayudar a convencer a los socios y entidades de financiamiento de la fiabilidad de un proyecto. La estructura de control del proyecto lograda a través de buenas prácticas de planificación de la gestión—sumada a un sólido equipo del proyecto y un buen criterio— brinda la seguridad de que el proyecto está siendo, y seguirá siendo, debidamente gestionado. Para que el proyecto sea confiable, los organismos de ejecución deben contar con un plan de ejecución determinado por datos y con controles adecuados. Estos elementos son inherentes a la planificación de la gestión del proyecto y no solo son importantes para el éxito del proyecto, sino que, a veces, incluso son obligatorios para obtener las aprobaciones y el financiamiento iniciales. Algunos proveedores de financiamiento experimentados, como la Administración Federal de Transporte (FTA) del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, exigen un plan de gestión del proyecto para cualquier proyecto ferroviario urbano que reciba fondos federales de libre disposición a fin de reducir los riesgos de aumentos de costos y demoras en el cronograma de trabajo (FTA, 2016). La planificación de la gestión del proyecto es especialmente importante para las organizaciones con poca

experiencia en la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos (véase el recuadro 4.1). También es una práctica frecuente entre los organismos de ejecución más experimentados. Asimismo, es un activo clave para evitar prácticas perversas del sector como las declaraciones falsas con fines estratégicos.

En el caso de la mayoría de los países de ingreso bajo y medio, los proyectos ferroviarios urbanos posiblemente se encuentren entre los mayores megaproyectos emprendidos en su historia moderna, lo cual resalta la importancia que revisten tanto el proyecto como la cuidadosa planificación de su gestión. Como la experiencia con la gestión de megaproyectos a menudo es limitada en estos países, los principios de planificación de la gestión de proyectos no suelen

RECUADRO 4.1.

La importancia de la planificación de la gestión del proyecto para fortalecer la confianza de los grupos de interés en organismos sin experiencia: Washington, DC, línea plateada

En 2004, el estado de Virginia, en los Estados Unidos, emprendió la puesta en marcha del proyecto de la línea plateada del Metro, el primer tramo (de 37 kilómetros) de una conexión ferroviaria del metro entre la ciudad de Washington y el Aeropuerto Internacional de Washington-Dulles. En 2007, la gestión del proyecto se transfirió a la Autoridad Metropolitana de Aeropuertos de Washington (MWAA), que opera el Aeropuerto Internacional de Washington-Dulles. Pese a su experiencia en la operación y construcción de instalaciones aeroportuarias, la MWAA tenía poca experiencia en la gestión de grandes proyectos ferroviarios. No obstante, con una planificación deliberada y estructurada de la gestión del proyecto, este organismo sin experiencia fue capaz de transmitir credibilidad a los inversionistas y de materializar la ejecución de un importante proyecto ferroviario urbano.

Preocupado por la falta de experiencia de la MWAA en proyectos ferroviarios y en contratos de diseño y construcción (el método de adquisiciones elegido para el proyecto), el Gobierno federal retrasó la aprobación de la asistencia financiera del proyecto en enero de 2008. Entre otros puntos, la MWAA debía fortalecer la planificación de la gestión del proyecto a fin de brindar una mayor confianza de que el proyecto se completaría de acuerdo con el presupuesto, el cronograma y el alcance acordados. A partir de esta iniciativa ampliada y deliberada de planificación de la gestión del proyecto (y otros requisitos que se cumplieron), el Gobierno federal dio marcha atrás con su decisión inicial, y el proyecto recibió fondos por USD 975 millones para la fase I, de un costo total del proyecto de USD 3140 millones. Como puede apreciarse, la capacidad de gestión del proyecto del organismo de ejecución fue una consideración importante para la aprobación de los fondos para este proyecto.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 4.1.

La importancia de la planificación de la gestión del proyecto para fortalecer la confianza de los grupos de interés en organismos sin experiencia: Washington, DC, línea plateada *(Continuación)*

Este estudio de caso demuestra que la planificación de la gestión de un proyecto brinda a los inversionistas y a los responsables de la toma de decisiones políticas la confianza de que un proyecto tiene todos los elementos necesarios para su ejecución conforme a los compromisos asumidos con respecto al cronograma, el costo y el alcance. Los organismos de ejecución de proyectos deben demostrar a los proveedores de fondos y entidades de financiamiento que su enfoque de gestión del proyecto es sólido y confiable. Los proveedores de fondos y las entidades de financiamiento, por su parte, deben exigir pruebas de que el proyecto está en buenas manos y de que el organismo de ejecución está en condiciones de ejecutar el proyecto en su totalidad, de manera puntual y ajustándose al presupuesto. En el caso de la MWAA y la línea plateada, la buena planificación de la gestión del proyecto permitió demostrar este punto y posibilitó que el proyecto avanzara a la fase de construcción (véase la imagen B4.1.1).

IMAGEN B4.1.1. Obra en construcción en Fairfax (Virginia) correspondiente a la fase I de la línea plateada del metro al Aeropuerto Internacional de Washington-Dulles

Fuente: © Dulles Corridor Metrorail Project. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

emplearse de manera tan generalizada y esto da lugar a un mayor riesgo. La curva de aprendizaje para la planificación y la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos es muy pronunciada, tanto en el sector público como en el privado, y se mantiene a lo largo de todo el proceso de elaboración del proyecto. Dada la importancia crítica que reviste un megaproyecto ferroviario urbano para la economía de un país (como porcentaje del producto interno bruto [PIB] y como un posible factor clave de la productividad y el desarrollo económico) y teniendo en cuenta que la subestimación de costos y los costos superiores a los previstos en los proyectos ferroviarios son relativamente frecuentes en los países de ingreso

bajo y medio (Flyvbjerg, Bruzelius y Rothengatter, 2003, p. 16), los enfoques estructurados en torno a la planificación de la gestión del proyecto resultan esenciales si el presupuesto y los costos, el cronograma de ejecución y el alcance son elementos importantes.

En este capítulo se analiza el modo en que los equipos multidisciplinarios de gestión de proyectos pueden emplear herramientas y principios de planificación de la gestión de proyectos para contribuir al éxito del proyecto. El capítulo comienza con una reflexión en torno a cómo debe organizarse un proyecto para facilitar la comunicación entre organismos y dentro de ellos, y para identificar y mitigar riesgos a lo largo de todo el proceso de elaboración del proyecto. A continuación, sigue un análisis de las herramientas fundamentales de gestión de la planificación que deben utilizarse en la gestión de la ejecución de cualquier proyecto de capital importancia —en particular, un megaproyecto ferroviario urbano—, como el control del alcance, el presupuesto, los costos y el cronograma, y la evaluación de riesgos. El capítulo concluye con un análisis de cómo va evolucionando el enfoque de la planificación de la gestión del proyecto a lo largo del proceso de desarrollo, incluida la gestión del diseño, la gestión de adquisiciones generales y de terrenos, la gestión de la construcción y la puesta en marcha, pruebas y operación del proyecto. Los principios generales de la planificación de la gestión del proyecto que se presentan en este capítulo son vitales para el éxito de cualquier proyecto, pero aún más en el caso de los proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio, donde la experiencia previa con iniciativas similares posiblemente sea limitada o directamente nula.

Organización de la gestión del proyecto

Para la ejecución de cualquier proyecto complejo, como los proyectos ferroviarios urbanos, es necesaria una base amplia de disciplinas técnicas. En un enfoque simplista, los planificadores asumirían el control durante la planificación, los ingenieros harían lo propio durante el diseño, y los jefes de construcción, durante la construcción. Sin embargo, es necesario adoptar un enfoque multidisciplinario a lo largo de todo el proceso de elaboración del proyecto. Es importante incluir a planificadores, ingenieros, jefes de construcción, especialistas en material rodante y especialistas en operación, así como a equipos financieros y jurídicos, en la planificación de la gestión del proyecto a lo largo de cada paso. Por ejemplo, durante la planificación, los ingenieros deben ser proactivos e identificar y mitigar cualquier inconveniente que pueda surgir a medida que el proyecto avanza hacia las etapas de diseño preliminar y detallado (véase el capítulo 7 sobre gestión de riesgos). Durante el diseño, los jefes de construcción deben

mantenerse involucrados porque las decisiones de ingeniería afectan la metodología y los costos de la construcción (véase el capítulo 11). A medida que el proyecto avanza a través de los diferentes pasos de ejecución, también deben realizarse consultas con expertos en estimación de costos, planificadores de proyectos, especialistas en operación de tránsito y especialistas en control de documentación, cuestiones sociales y ambientales, asuntos jurídicos, asuntos financieros, adquisiciones, comunicaciones y adquisición de terrenos, entre otros. Incluir a especialistas de todas las áreas a lo largo de todo el proceso de elaboración del proyecto facilita la previsión y la mitigación de los problemas antes de que se produzcan o se agraven, y maximiza el potencial de cumplir con el alcance de las obras acordado dentro del presupuesto y el cronograma previstos.

En casos en los que exista poca experiencia operacional, es aconsejable contratar a un "operador en la sombra" para que examine los planes y diseños del proyecto y avale la toma de decisiones. Este "operador en la sombra" puede ayudar a verificar que el sistema esté debidamente planificado y diseñado para posibilitar un funcionamiento eficiente, flexible y rentable tras su finalización. Si bien es importante contar con la participación de esta amplia variedad de expertos técnicos, también es necesario empoderar a un grupo básico de gerentes y responsables de la toma de decisiones que tenga a su cargo la ejecución del proyecto para tomar medidas rápidas y decisivas en función de los aportes recibidos desde diferentes perspectivas.

El equipo básico de gestión del proyecto

Gran parte del éxito de la planificación de la gestión del proyecto reside en la participación de equipos multidisciplinarios, pero también es importante complementar el proceso de planificación integral con la celeridad en la toma de decisiones. Generalmente, un comité técnico más amplio con representantes de las diferentes disciplinas realiza recomendaciones, mientras que un órgano ejecutivo conformado por un número reducido de miembros de nivel directivo toma las decisiones relativas al proyecto. Se debe informar permanentemente a estos responsables de la toma de decisiones durante todos los pasos del desarrollo de proyecto y sobre todos los ámbitos del proyecto. Deben comunicarles los detalles técnicos de una manera clara y concisa. En reconocimiento de que las decisiones también se toman bajo las restricciones que impone la economía política actual, el equipo básico de gestión del proyecto debe ser lo suficientemente numeroso para contemplar todos los elementos necesarios para tomar decisiones, pero lo suficientemente reducido para reaccionar ágilmente ante las oportunidades políticas o económicas. El tamaño ideal del equipo básico de gestión del proyecto dependerá del contexto local y del nivel de capacidad y experiencia del organismo de ejecución del proyecto; el equipo debe estructurarse

con la facultad de actuar con rapidez y de evitar las trabas burocráticas que puedan afectar la capacidad del proyecto de cumplir con su cometido.

La función de los consultores

En todos los pasos de la elaboración y la ejecución del proyecto se necesita una dotación de personal suficiente y experimentado. Habida cuenta de la magnitud y la complejidad que revisten los grandes proyectos ferroviarios urbanos, ciertas funciones inherentes a la elaboración del proyecto pueden tercerizarse o bien complementarse con la asistencia de consultores externos. Por ejemplo, los consultores pueden asesorar directamente al promotor del proyecto, quien puede delegar en ellos algunas responsabilidades de gestión y toma de decisiones del proyecto; pueden participar de manera directa en los estudios de diseño, o pueden asesorar al equipo de gestión del proyecto responsable de la construcción en nombre de los contratistas de la construcción o los proveedores de equipos. Independientemente de la función que desempeñen en un proyecto dado, los consultores deben trabajar bajo la gestión y la dirección del personal interno del organismo versado en el proyecto, que esté al tanto del contexto más amplio en el que se enmarca la actividad y que esté dedicado a lograr los resultados deseados. Este personal interno debe contar con las aptitudes técnicas, de gestión, de liderazgo y comunicativas requeridas para gestionar el equipo de consultores de manera competente. La conformación de los equipos del proyecto con una combinación de consultores y personal del organismo, así como el agrupamiento físico del equipo del proyecto, han demostrado ser eficaces. En el caso de los organismos que están por emprender un proyecto ferroviario urbano por primera vez o que no lo han hecho en un largo tiempo, puede resultar vital importar los servicios de expertos internacionales actualizados.

El uso de consultores debe estructurarse cuidadosamente y examinarse para verificar que no existan conflictos de intereses y que el organismo lleve a cabo la debida supervisión de los consultores. Los consultores no pueden ni deben reemplazar la función del organismo de ejecución del proyecto; por el contrario, deben apoyar al organismo en calidad de asesores técnicos. Pese a ser expertos en sus campos, los consultores son, por definición, temporales. Por ende, cuando finalice su contrato o la fase del proyecto en la que participan, los consultores dejarán de estar disponibles para compartir su experiencia en proyectos o brindar asistencia para resolver cualquier problema que pueda surgir.

Es importante que los organismos de ejecución del proyecto aprendan de los contratistas y demás expertos durante la fase de construcción del proyecto. Este perfeccionamiento profesional incluso puede incorporarse en los contratos celebrados con estas entidades. Los consultores externos pueden ser de utilidad para fortalecer la capacidad dentro de instituciones con baja capacidad si la capacitación forma parte de sus contratos, si interactúan con frecuencia con el personal

interno del proyecto y si hay una forma sistemática de recopilar y difundir la información generada por ellos. Este intercambio de conocimientos debe incluirse de manera explícita en las negociaciones contractuales desde un primer momento, ya que es poco probable que se presente como una iniciativa espontánea de los consultores, quienes desean preservar sus propios saberes y su ventaja competitiva para futuras propuestas comerciales. De este modo, una vez que los consultores finalicen sus contratos, el personal interno del proyecto (que generalmente permanecerá en el proyecto durante toda su duración) debe asumir la responsabilidad respecto de los conocimientos institucionales del proyecto y brindar la continuidad necesaria para prestar asistencia orientada a resolver problemas una vez que los contratos con los consultores hayan llegado a su fin.

Fortalecimiento de la capacidad interna para la implementación del transporte ferroviario urbano

Para ciudades con estrategias de transporte a largo plazo que demandan nuevas ampliaciones de la red o de las líneas ferroviarias urbanas, es importante aprovechar cada proyecto para mantener y profundizar los conocimientos institucionales relativos a la planificación, el diseño, la construcción y la operación dentro del organismo de ejecución del proyecto. Asimismo, es posible que muchas zonas locales carezcan de la mano de obra especializada necesaria para poner en práctica ciertos métodos de construcción de ferrocarril urbano (véase el capítulo 11) o para operar y mantener los activos y servicios del sistema una vez construido. Por tales motivos, puede que los municipios se vean obligados a capacitar a nuevos empleados especializados para la construcción y el mantenimiento de proyectos ferroviarios urbanos (véase el recuadro 4.2).

RECUADRO 4.2.

Ejemplos de la capacitación de la fuerza laboral en la construcción de sistemas ferroviarios urbanos: la TUCA y el Programa de Pasantías de Crossrail en Londres, Reino Unido

Un ejemplo emblemático de inversión a largo plazo en mercados de mano de obra especializada para la construcción (y el mantenimiento) de sistemas ferroviarios urbanos es la Academia de Construcción de Túneles y Espacios Subterráneos (TUCA) creada en Londres por Crossrail Ltd. y luego transferida a Transport for London. En 2008, Crossrail se vio ante una escasez de ingenieros especializados en la excavación de túneles: más del 50 % de los egresados de la carrera de ingeniería no se dedicaban a la profesión

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 4.2.

Ejemplos de la capacitación de la fuerza laboral en la construcción de sistemas ferroviarios urbanos: la TUCA y el Programa de Pasantías de Crossrail en Londres, Reino Unido *(Continuación)*

ferroviaria, la edad promedio de un ingeniero era de 56 años y el 70 % de las empresas que prestaban servicios profesionales de construcción informaban una carencia de candidatos adecuados (Blin y Eldred, 2016). Reconociendo la necesidad de profesionales especializados en la construcción de espacios subterráneos, Crossrail fundó la TUCA, el único centro de Europa especializado en capacitación sobre excavación de túneles en terrenos blandos, para que impartiera los conocimientos para adquirir las aptitudes necesarias para trabajar en obras de excavación de túneles, construcción de espacios subterráneos e infraestructura. La creación de la TUCA fue apenas una pequeña parte de una estrategia más amplia de formación y empleo para el proyecto de Crossrail. La TUCA ayudó a construir no solo la infraestructura de la línea Elizabeth, sino también a fortalecer la capacidad institucional y laboral a largo plazo necesaria para realizar el mantenimiento de todo el sistema ferroviario urbano de la ciudad en el futuro (Blin y Eldred, 2016; Pascutto, 2010).

Crossrail Ltd. y sus principales contratistas británicos —entre los que se incluyen Bombardier Transportation, MTR Crossrail y Network Rail— también crearon un programa de pasantías que conectaba a ingenieros y profesionales locales de la construcción y de otros campos con funciones complementarias de la construcción de la línea Elizabeth, la fabricación del nuevo material rodante Clase 345 y las futuras operaciones del ferrocarril (Dempsey, 2017). Desde el inicio del programa en 2009, Crossrail ha creado más de 1000 pasantías que han ayudado a adquirir los conocimientos técnicos en el mercado laboral local y a crear una fuerza laboral sostenible para las operaciones a largo plazo del sistema (véase la imagen B4.2.1).

IMAGEN B4.2.1. Ingenieros y otros profesionales locales conectados con contratistas a través del Programa de Pasantías de Crossrail

Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

La importancia de la comunicación

La comunicación es otro aspecto importante de la gestión del proyecto. La comunicación entre todas las partes —ya sea entre las diferentes unidades del organismo de ejecución del proyecto o entre el organismo de ejecución del proyecto y otros grupos de interés del Gobierno, sus proveedores y contratistas o el público general— es una de las claves para un proyecto exitoso. Esta sección se centra en la importancia de la comunicación y el establecimiento de parámetros comparativos entre los responsables de la toma de decisiones de alto nivel del proyecto, el personal técnico y los consultores del organismo de ejecución del proyecto. La comunicación y la interacción entre el personal de gestión y los propietarios de las empresas de servicios públicos, otros proveedores de servicios de transporte y los contratistas se analizan en el capítulo 11, y la comunicación con el público general, en el capítulo 14.

Incluso contando con personal experto y consultores, la falta de comunicación puede tener consecuencias calamitosas para la ejecución de del proyecto. La gestión diaria del proyecto normalmente está a cargo de un director o gerente de proyecto; no obstante, todas las unidades y los grupos que trabajan en el proyecto deben identificarse con la planificación de la gestión del proyecto y tomarla con seriedad. Deben mantenerse reuniones periódicas con todas las especialidades involucradas en el proyecto. Deben organizarse talleres participativos a fin de integrar a todas las unidades en la discusión y la preparación de cada uno de los sucesivos pasos de la elaboración del proyecto. Estos eventos pueden contribuir a lograr un sentido de identificación colectiva con el proyecto y su gestión.

Además, en proyectos complejos como lo son los de transporte ferroviario urbano, la elaboración del proyecto cuenta con la participación de varios organismos externos y grupos de interés externos. Por lo tanto, debe establecerse un comité de coordinación conformado por representantes de estos organismos externos a fin de favorecer la comunicación constante entre todas las partes. Los organismos externos deben incluir a organismos gubernamentales que puedan incidir en el proyecto o ser afectados por él, empresas de servicios públicos, ferrocarriles y otras entidades privadas. Este comité de coordinación debe responder directamente al gerente de proyecto. La comunicación con los responsables de la toma de decisiones políticas y socios financieros también es crucial para el éxito de un proyecto. Deben realizarse reuniones informativas periódicas con los grupos tanto internos como externos.

La importancia de mantener parámetros comparativos

Una comunicación eficaz ayuda a promover el apoyo de los grupos de interés, generar respaldo y anticiparse a posibles problemas a lo largo de todo el

proceso de elaboración del proyecto. Mientras que la comunicación entre las diferentes partes se complementa con talleres periódicos, la comunicación de un paso del proyecto al siguiente se respalda con la documentación, la elaboración de informes y la actualización periódicas de los planes de gestión del proyecto. Los sistemas de control de la documentación son fundamentales.

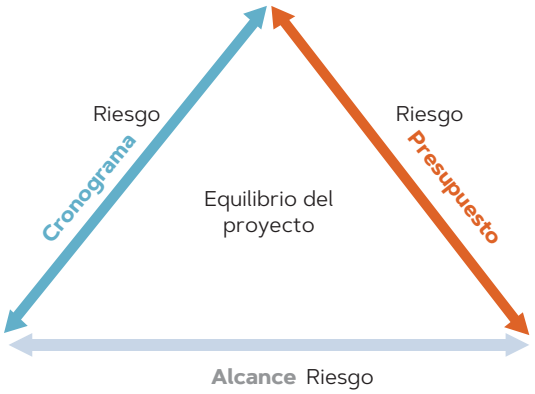
Dado que los proyectos ferroviarios urbanos se realizan a gran escala e implican plazos prolongados y presupuestos considerables, requieren de sistemas y procesos complejos para gestionar la ejecución del proyecto. Es necesario contar con sistemas para la recopilación, la evaluación y el mantenimiento de información y datos sobre el estado del proyecto que sean oportunos y precisos. Estos sistemas brindan información actualizada sobre la ejecución del proyecto, sus avances, cambios e inconvenientes, que resulta de utilidad para la gestión del presupuesto, el calendario y el alcance del proyecto. Además, es necesario un sistema de control de la documentación para manejar la vasta cantidad de documentos que se irán elaborando y refinando a la par de la ejecución del proyecto. Se han desarrollado aplicaciones informáticas para realizar el seguimiento y el análisis de estos componentes. Actualmente, las nuevas tecnologías, como el modelado de información de construcción (BIM), que originalmente se utilizaba para mejorar el diseño gráfico colaborativo de los edificios, hacen posible la gestión global de la infraestructura, desde la generación de planos hasta la construcción y la operación.

Independientemente del programa elegido, el personal debe poder comprender los datos necesarios, tener la capacidad y el tiempo para usar el sistema y poder analizar los resultados arrojados por estos sistemas. La elección o el diseño de los sistemas debe ser acorde a las realidades del organismo de ejecución y a la escala del proyecto. Muchos organismos incurren en una especificación excesiva de la funcionalidad del sistema, lo cual genera grandes ineficiencias. Al elegir un programa informático, el objetivo debe ser, en cambio, seleccionar una aplicación que tenga solamente las funciones necesarias para ser eficaz en función de los costos y satisfacer las necesidades de planificación de la gestión del proyecto.

Herramientas fundamentales de planificación de la gestión del proyecto

Para la ejecución de cualquier proyecto importante de transporte ferroviario urbano es necesario contar con algunas herramientas fundamentales de planificación de la gestión. Estas herramientas se aplican a lo largo de todo el proceso

GRÁFICO 4.1. Alcance, presupuesto y cronograma: tres variables fundamentales en las que debe centrarse la gestión



de elaboración del proyecto con el fin de determinar y especificar el alcance del proyecto, controlar el presupuesto y los costos, controlar el calendario, y evaluar y gestionar los riesgos (véase el gráfico 4.1).

Alcance del proyecto

Luego de que en el proceso de planificación se establece un proyecto o una alternativa preferida, debe definirse el valor de referencia. El valor de referencia permite refinar el proyecto definido en términos amplios en el proceso anterior de planificación del análisis de alternativas, que se aborda en el capítulo 3. Incluye la descripción física del proyecto, como la ubicación de vías, estaciones, comodidades de las estaciones, ingreso y egreso, características intermodales, instalaciones centrales de control, instalaciones de mantenimiento y almacenamiento, e instalaciones de administración. El valor de referencia incluye los vehículos, los sistemas de control, las comunicaciones, la distribución de energía, el cobro de tarifas y los equipos de apoyo para el proyecto.

Este valor de referencia se desarrolla en mayor profundidad en el diseño detallado del proyecto. Prácticamente todos los proyectos necesitan una definición más precisa o modificaciones a medida que avanza su proceso de desarrollo. Si bien los cambios en el alcance del proyecto deben controlarse, las revisiones tendrán lugar a medida que la definición del proyecto evolucione de manera ordenada a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Es necesario contar con un procedimiento de control de cambios a fin de gestionar los desvíos respecto de la referencia y asegurarse de que todos los cambios en el alcance traigan consigo un aumento del valor general del proyecto. El procedimiento debe proporcionar un sistema que permita identificar los cambios, registrarlos, evaluarlos en función de su impacto en los costos y aprobarlos si son pertinentes, y que garantice que la información aprobada en relación con los cambios se difunda debidamente a todo el equipo del proyecto. Sin un procedimiento de control de cambios, se corre el riesgo de incorporar al proyecto cambios que incrementen los costos o afecten el calendario sin un debido análisis de estos impactos ni un registro de por qué se propusieron los cambios. Esta falta de registro puede generar, más adelante, nuevos desafíos relativos a la memoria institucional.

Control de presupuesto y costos

La estimación precisa de los costos es una de las claves para una gestión exitosa del proyecto. La experiencia a nivel mundial indica que los organismos de ejecución a menudo soslayan o no incluyen partidas específicas del proyecto al crear el presupuesto de un proyecto, o bien son erradamente optimistas en cuanto al nivel de contingencia y financiamiento del proyecto. Desde el inicio del proyecto, es necesario realizar estimaciones de costos realistas a partir de la información más precisa de que se disponga para todas las partidas de capital y costos de operación, como se analiza en el capítulo 5. Estas estimaciones deben incluir la totalidad de los costos relacionados con la preparación y la planificación (por ejemplo, estudios), la gestión del proyecto, la construcción, la supervisión, y la operación y el mantenimiento. Las estimaciones preliminares de costos se basan, naturalmente, en muchas incertidumbres y variables y, por ende, tendrán un mayor margen de error. No obstante, teniendo en cuenta que las estimaciones de costos realizadas en el marco de estudios de factibilidad del proyecto o durante la labor de ingeniería preliminar generalmente constituyen la base para el financiamiento del proyecto, es necesario ser cautelosos al preparar estas primeras estimaciones y considerar las incertidumbres que plantean.

Debe establecerse un fondo o una partida de contingencia a fin de prever fondos para los cambios presupuestarios ocasionados por condiciones inesperadas del emplazamiento, revisiones del diseño, incertidumbres inherentes a la estimación, inflación y otros costos imprevistos que suelen producirse en los proyectos ferroviarios urbanos. Si bien es necesario contar con un fondo de contingencia, siempre que sea posible, los riesgos deben cotizarse y asignarse específicamente en todos los contratos para evitar conflictos, costos superiores a los previstos y demoras. Es necesario contar con un grupo de estimación de costos para actualizar las previsiones de los costos del proyecto a su finalización a partir de un análisis periódico de las estimaciones de costos ajustadas, los compromisos contractuales y los gastos en comparación con el presupuesto. Las actualizaciones deben realizarse al inicio de las diferentes fases de desarrollo del proyecto, y, en ese momento, las contingencias tanto asignadas (por partida) como no asignadas (generales del proyecto) deben revisarse en función del nivel de detalle del diseño del proyecto. Si los costos varían lo suficiente como para afectar el financiamiento del proyecto, deben comunicarse de inmediato a la gerencia general y a los socios del proyecto para proceder a su análisis y a la toma de medidas correctivas.

Los costos y el presupuesto de un proyecto deben incorporarse en el sistema general de elaboración de informes y seguimiento del proyecto. En los informes de costos del proyecto se detallan los costos actuales y las estimaciones futuras

de costos. Esta información luego se utiliza para identificar tendencias y proyectar los costos al momento de finalización del proyecto. En los informes de presupuesto se identifica el financiamiento disponible para el proyecto. Esta información se utiliza para identificar y abordar de manera proactiva la diferencia de costo entre los costos y el presupuesto reales y previstos. Este informe ayuda a evitar sorpresas durante el avance de la ejecución, y brinda a los responsables de la toma de decisiones y a los proveedores de financiamiento la confianza de que los costos actuales del proyecto son precisos. En el cuadro 4.1 se presenta un ejemplo de un formato que podría utilizarse en la elaboración de informes mensuales de costos de nivel superior o ejecutivo para complementar un seguimiento más detallado a nivel del equipo técnico multidisciplinario de gestión del proyecto. En el cuadro 4.1, se muestran los costos previstos actuales junto con el cambio respecto del mes anterior para cada uno de los elementos principales del proyecto.

CUADRO 4.1. Ejemplo de un gráfico de informe mensual de costos de nivel ejecutivo
Miles de USD

ELEMENTO DEL PROYECTO	COSTO DE REFERENCIA PROYECTADO (ENERO, AÑO 1)	ÚLTIMO COSTO PREVISTO ACTUALIZADO (JUNIO, AÑO 1)	COSTO PREVISTO ACTUAL	CAMBIO RESPECTO DEL MES ANTERIOR	CAMBIO RESPECTO DEL VALOR DE REFERENCIA
Plan de gestión del proyecto	45 000	45 000	45 000	0	0
Ingeniería preliminar	25 000	25 000	25 000	0	0
Evaluación ambiental	26 000	26 000	26 000	0	0
Diseño final	53 000	60 000	60 000	0	7 000
Supervisión del proyecto	170 000	170 000	170 000	0	0
Vía segregada	160 000	165 000	250 000	85 000	90 000
Contratos de construcción					
Tramo A del túnel	245 000	280 000	288 000	8 000	43 000
Tramo B elevado	160 000	170 000	170 000	0	10 000
Tramo C a nivel	80 000	80 000	85 000	5 000	5 000
Estaciones	424 000	424 000	420 000	(4 000)	(4 000)
Sistemas	208 000	208 000	208 000	0	0
Contrato de vehículos	105 000	105 000	105 000	0	0
Monto para contingencias no asignado	500 000	449 000	359 000	(90 000)	(141 000)
Costo total del proyecto	**2 201 000**	**2 207 000**	**2 211 000**	**4 000**	**10 000**

Nota: Las cifras se incluyen exclusivamente con fines ilustrativos y no corresponden a datos reales del proyecto.

La precisión y la continuidad en la elaboración de informes y el análisis de diferencia de costo son clave para gestionar y administrar eficazmente los grandes proyectos ferroviarios urbanos. Las causas, los impactos y las medidas propuestas para mitigar la diferencia de costo deben analizarse en reuniones de seguimiento realizadas, como mínimo, todos los meses —si no todas las semanas—, dependiendo de la velocidad a la que avancen las obras de construcción. Las cuestiones importantes que surjan entre una y otra reunión deben comunicarse de inmediato sin esperar a la próxima reunión programada.

Control del cronograma

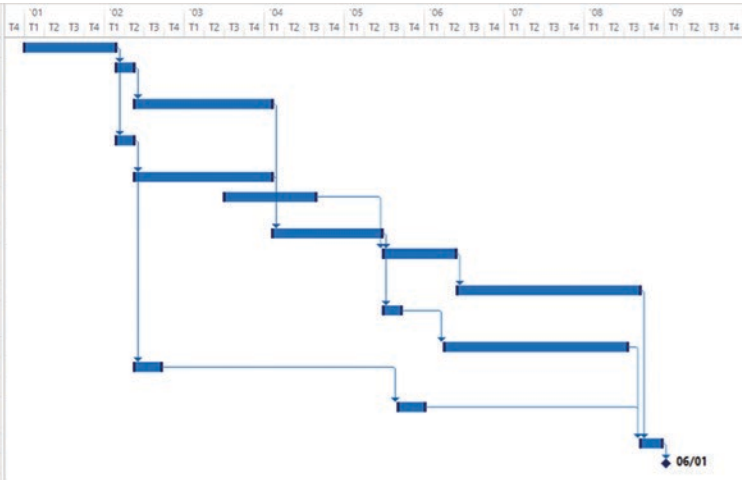
Además de los costos y el presupuesto, los cronogramas son otra herramienta fundamental de la planificación de la gestión del proyecto. Los cronogramas permiten a los gerentes anticiparse a acontecimientos, examinar el avance y modificar los planes de trabajo según resulte necesario para cumplir con los hitos del proyecto. Comprender la ruta crítica del proyecto y llevar un registro de él es fundamental para el éxito del proyecto. En virtud de la complejidad que revisten los grandes proyectos ferroviarios urbanos, es necesario que el control del cronograma se realice con herramientas profesionales, personal cualificado y una línea de comunicación directa con el equipo de gestión del proyecto. Los informes del cronograma a menudo tienen diferentes niveles de detalle dependiendo del uso previsto. El equipo de gestión del proyecto tiene que contemplar todos los aspectos de un cronograma de la ruta crítica y debe resumir estos aspectos en fechas de cumplimiento de hitos importantes para los gerentes de nivel ejecutivo.

Cronograma detallado de la ruta crítica

El equipo de gestión del proyecto utiliza un cronograma maestro detallado del programa para analizar las posibles demoras y ajustar proactivamente los elementos de trabajo para cumplir con los cronogramas. Debido a la complejidad y a la variedad de las metas, es necesario que los grandes proyectos ferroviarios urbanos cuenten con personal con dedicación exclusiva que se encargue de la programación por medio de un *software* específico de planificación. El cronograma maestro del programa se elabora a partir de cronogramas detallados del proyecto y se actualiza con procedimientos establecidos a cargo de especialistas responsables y cualificados para dar lugar a un registro documentado. Abarca todos los elementos del proyecto, incluidos los procesos de licitación, los procesos ambientales, las aprobaciones financieras, los cronogramas de obtención de vías segregadas, los cronogramas de diseño, los cronogramas de construcción, los cronogramas de proveedores y los cronogramas de puesta en marcha y pruebas. Un cronograma de la ruta crítica incluye detalles de todos los elementos de trabajo que, si sufrieran demoras, incidirían en la fecha de

GRÁFICO 4.2. Ejemplo de un cronograma simplificado de la ruta crítica para un proyecto ferroviario urbano representado como un diagrama de Gantt

	Task	Start	Finish
1	Conceptual Study	01/01/2001	22/02/2002
2	Environmental Impact Study - Bidding	25/02/2002	17/05/2002
3	Environmental Impact Study	20/05/2002	06/02/2004
4	Preliminary Engineering - Bidding	25/02/2002	17/05/2002
5	Preliminary Engineering	20/05/2002	06/02/2004
6	Critical Right of way Acq. & Resettlement	01/07/2003	23/08/2004
7	Final Design	09/02/2004	24/06/2005
8	Major construction works - Bidding	27/06/2005	26/05/2006
9	Major construction works	29/05/2006	12/09/2008
10	Systems Installation - Bidding	27/06/2005	16/09/2005
11	Systems installation	01/04/2006	17/07/2008
12	Vehicle Design	20/05/2002	20/09/2002
13	Vehicle Procurement		
14	Vehicle manufacturing & Delivery	01/09/2005	04/01/2006
15	Integrated Testing	15/09/2008	19/12/2008
16	Entry Into Revenue Service	06/01/2009	06/01/2009



Nota: Las tareas, con sus fechas de inicio y finalización, se incluyen exclusivamente con fines ilustrativos y no corresponden a datos reales del proyecto.

finalización del proyecto. En el gráfico 4.2 se incluye un ejemplo de un cronograma de la ruta crítica del proyecto.

Cronograma de ejecución por hitos

Los avances en relación con el cronograma general del proyecto deben examinarse de manera permanente a fin de que la reasignación de recursos u otras medidas correctivas puedan realizarse a la mayor brevedad posible para evitar demoras. Si bien el cronograma maestro del programa es una poderosa herramienta para la gestión del proyecto, es importante poner cuadros resumidos a disposición del personal de nivel ejecutivo a cargo del seguimiento de los cronogramas del proyecto. En el cuadro 4.2 se ilustra un cronograma de nivel superior a través del cual se lleva un seguimiento de los cambios mensuales que conducen a la finalización de las tareas. Este formato le permite al personal de nivel ejecutivo concentrarse en las áreas donde se han producido cambios en los cronogramas y asignar fondos de contingencia tendientes a garantizar la finalización de ciertas tareas, si así lo permiten las circunstancias. Una herramienta tan simple como esta permite comunicar los cambios en los cronogramas que inciden en otras áreas de trabajo o bien en la fecha de finalización del proyecto a los responsables de la toma de decisiones de nivel superior. En las reuniones mensuales de seguimiento del avance deben incluirse actualizaciones de los cronogramas y el correspondiente análisis de alternativas para controlar y mitigar las demoras. Es recomendable que en estas reuniones también se aborden

CUADRO 4.2. Ejemplo de un gráfico de seguimiento mensual de los principales hitos del proyecto correspondiente a un proyecto ferroviario urbano al final del diseño preliminar como preparación para la ejecución de un contrato de diseño y construcción

EJEMPLO ILUSTRATIVO DEL HITO PRINCIPAL DEL PROYECTO	FECHA DE FINALIZACIÓNINICIAL DE REFERENCIA (ENERO, AÑO 0)	FECHA DE FINALIZACIÓN MODIFICADA (AGOSTO, AÑO 1)	FECHA DE FINALIZACIÓN PREVISTA (P) O REAL (R)	CAMBIORESPECTO DE LA FECHA DE REFERENCIA MODIFICADA
Estudio conceptual	Octubre, año 1	30 de septiembre, año 1	(R) 30 de septiembre, año 1	Finalizado dentro del cronograma previsto
Publicación de estudio de impacto ambiental	Octubre, año 2	Octubre, año 2	(R) 6 de diciembre, año 2	Demorado, 2 meses
Finalización de la ingeniería preliminar	Diciembre, año 2	Febrero, año 3	(R) 18 de mayo, año 3	Demorado, 3 meses
Creación de todas las vías segregadas	Septiembre, año 3	Noviembre, año 3	(P) Mayo, año 4	Demora probable, 6 meses
Licitación y adjudicación de asociaciones público-privadas	Enero, año 4	Marzo, año 4	(P) Junio, año 4	Demora probable, 3 meses
Diseño final	Enero, año 5	Marzo, año 5	(P) Junio, año 5	Demora probable, 3 meses
Inicio de la primera actividad importante de construcción	Febrero, año 5	Abril, año 5	(P) Julio, año 5	Demora probable, 3 meses
Finalización de sistemas o construcción pesada	Febrero, año 7	Abril, año 7	(P) Octubre, año 7	Demora probable, 6 meses
Entrega de primeros vehículos	Abril, año 7	Julio, año 7	(P) Noviembre, año 7	Demora probable, 4 meses
Finalización de pruebas integradas	Julio, año 7	Septiembre, año 7	(P) Marzo, año 8	Demora probable, 6 meses
Inicio del servicio comercial	Septiembre, año 7	Noviembre, año 7	(P) Mayo, año 8	Demora probable, 6 meses

Nota: Los hitos del proyecto y sus fechas se incluyen exclusivamente con fines ilustrativos y no corresponden a datos reales del proyecto.

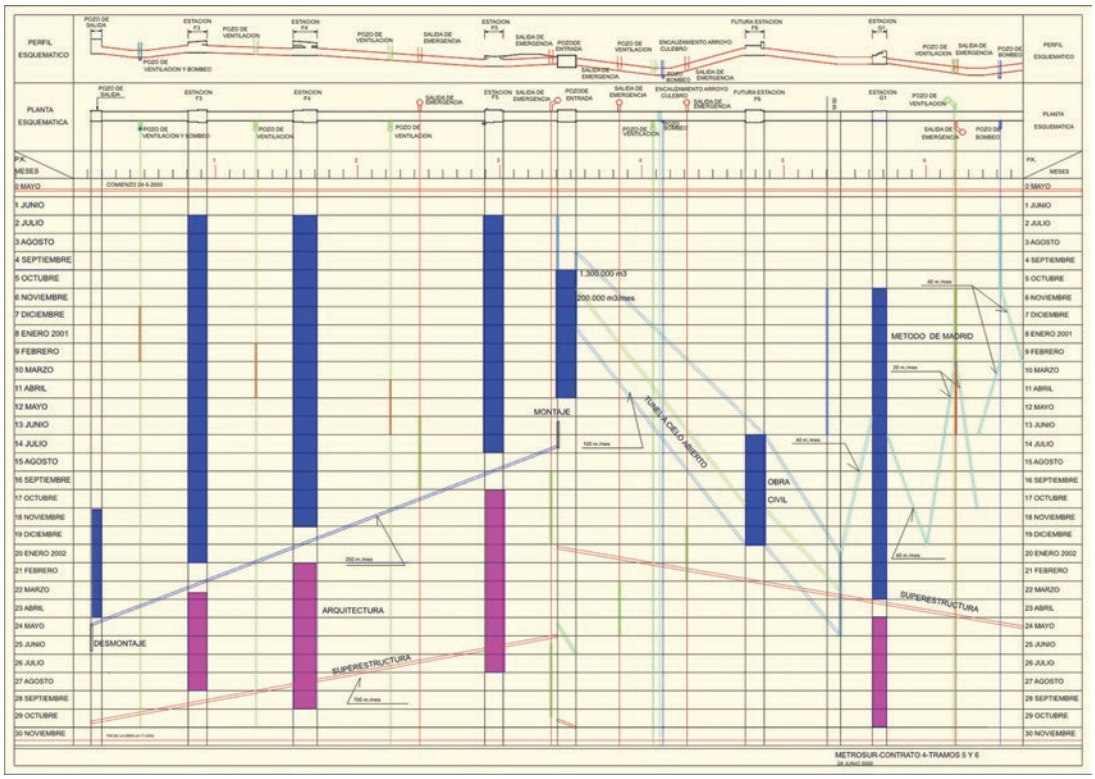
los costos, los riesgos y otros aspectos estratégicos clave del proyecto, relacionados con el calendario.

Cronograma geográfico

La mayoría de los contratistas y propietarios recurren a los cronogramas de la ruta crítica como la principal herramienta para la planificación y el seguimiento de los avances. Por lo general, los cronogramas de la ruta crítica se visualizan como un diagrama de Gantt (como el del gráfico 4.2). En el caso de los proyectos

ferroviarios urbanos donde partes de una línea o un sistema podrían estar elevados o a nivel, mientras que otras se construyen subterráneamente, un cronograma de la ruta crítica y la visualización en la forma de un diagrama de Gantt no muestran la ubicación geográfica donde comienza y termina la excavación de un túnel (Wonneberg y Drake 2012). Por tal motivo, los jefes de proyectos de excavación de túneles a menudo preparan cronogramas geográficos para complementar el cronograma de la ruta crítica del proyecto. Un cronograma geográfico se basa en la funcionalidad de un diagrama de Gantt, pero, además, incorpora información sobre la ubicación de los elementos. Un cronograma geográfico es una lista de las actividades del proyecto y su respectiva duración, donde el eje horizontal representa el tiempo (que aumenta de izquierda a derecha) y el eje vertical representa la secuencia lineal de estaciones (o la ubicación geográfica) de la construcción planificada (como se muestra en el gráfico 4.3). Junto con el cronograma de la ruta

GRÁFICO 4.3. Ejemplo de un cronograma geográfico, que incluye elementos lineales y no lineales



Fuente: © Metro de Madrid. Reproducido con autorización. Para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

crítica, los cronogramas geográficos pueden ayudar a explicar y definir el alcance del trabajo, comunicar los avances y el calendario generales, evaluar escenarios hipotéticos y tomar decisiones clave relativas al proyecto.

Gestión de riesgos

El proceso de gestión de riesgos permite a los gerentes de proyecto, socios y responsables de la toma de decisiones comprender los riesgos del proyecto a medida que se avanza en la ejecución. Asimismo, brinda un plan para mitigar y gestionar los riesgos a través de diferentes medios, incluido el uso de mecanismos de contingencia en relación con los costos y el cronograma. Un programa de gestión de riesgos ofrece un análisis y una evaluación de los riesgos con el fin de determinar la protección máxima contra esta adversidad, así como estrategias para identificar riesgos y responder a ellos lo antes posible en el proceso de elaboración del proyecto. Se presta especial atención a los costos de mayor magnitud y a las actividades programadas en la ruta crítica del proyecto o en torno a él. Los riesgos se originan en los primeros pasos de la elaboración del proyecto y se extienden a lo largo del diseño, la construcción y la operación. Si no se identifican anticipadamente, no se mitigan y no se asignan debidamente en los contratos, estos riesgos pueden ocasionar demoras considerables y pueden ser aprovechados por las empresas constructoras para expedir órdenes de modificación e incrementar los costos respecto de la oferta inicial. A medida que aumenta la complejidad de un proyecto, surgen nuevas dimensiones de riesgo que deben analizarse a fin de determinar su potencial impacto en el proyecto.

La elaboración de un registro de riesgos ayuda a identificar los riesgos relacionados con el proyecto y a cuantificar los potenciales impactos de estos riesgos en el proyecto. El registro de riesgos debe elaborarse en una reunión o un taller con el personal y los grupos de interés y actualizarse periódicamente. En el registro de riesgos se identifica y describe cada uno de los riesgos del proyecto, se indican las actividades del proyecto potencialmente afectadas por el riesgo, se estima la probabilidad de que ocurran y se enumeran los posibles impactos en los costos y el calendario (Hillson, 2002). La estrategia de gestión del proyecto debe centrarse en los riesgos de alta incidencia y alto impacto, ya que prestar atención a los riesgos improbables y que tienen un efecto menor, atenta contra la eficiencia.

Un plan de gestión de riesgos es un proceso sistemático a través del cual se identifica, analiza y responde al riesgo a lo largo de todos los pasos de la elaboración del proyecto. El plan, que incluye un registro de riesgos y un esquema de mitigación, debe actualizarse periódicamente, ya que algunos riesgos son específicos de cada paso o evolucionan con el tiempo. Si bien algunos riesgos

pueden ser inevitables, la evaluación de los riesgos ayuda a elaborar un programa orientado a evitar, reducir, transferir o minimizar sus impactos (véase el capítulo 7).

Una estrategia de gestión de riesgos debe coincidir con el nivel de detalle y las necesidades del proyecto en virtud de su presupuesto, cronograma y alcance. Todas las estrategias de gestión de riesgos comienzan por la identificación del riesgo. La identificación puede ser descendente, en cuyo caso los riesgos más importantes se identifican a partir de experiencias en proyectos y entornos similares. En cambio, en la identificación ascendente, que reviste mayor complejidad, cada riesgo que pueda afectar el proyecto se registra y caracteriza en detalles. La identificación ascendente presenta un panorama más preciso de la situación, lo que permite al personal del proyecto recopilar información y tomar decisiones informadas en virtud de los riesgos desde el nivel más bajo de una organización. De todos modos, debido a este nivel de detalle, la identificación ascendente consume más recursos y puede no ser una opción realista si no se dispone de suficiente información comparable que provenga de las prácticas del sector. Como la mayoría de las organizaciones no puede costear los recursos necesarios para llevar a cabo una identificación ascendente completa, con las estrategias modernas se busca combinar la identificación de riesgos descendente y la ascendente, y encontrar un equilibrio entre ellas. Este equilibrio permite a los gerentes de proyecto de nivel ejecutivo realizar una evaluación de riesgos descendente que revele los principales riesgos para el proyecto. Una vez que se identifican los riesgos, el equipo del proyecto, dotado de conocimientos más específicos, puede llevar adelante una evaluación ascendente de la evolución de los riesgos identificados a lo largo de todo el proceso de elaboración del proyecto y estar atento a la aparición de nuevos riesgos.

Un equipo multidisciplinario perteneciente al organismo de ejecución del proyecto debe realizar una identificación cualitativa de riesgos durante el diseño preliminar. Este esfuerzo debe actualizarse en los diferentes pasos de la elaboración del proyecto. Cuando se adjudican los contratos de diseño y construcción, el sistema de gestión de riesgos establecido dentro del organismo de ejecución debe extenderse, con la debida supervisión periódica, a los contratistas, socios privados y cualquier consultor que realice tareas de supervisión. Deben identificarse los riesgos inherentes a todos los pasos del proceso de elaboración del proyecto. Si resulta conveniente, puede elaborarse un valor cuantitativo con el cual medir mejor los riesgos, pero esto no siempre es necesario. Deben analizarse métodos alternativos para la mitigación de riesgos, y debe seleccionarse una combinación de prácticas y procedimientos de control de riesgos. Para obtener información adicional sobre el análisis y la gestión de riesgos, véase el capítulo 7 de este manual.

La planificación de la gestión del proyecto a lo largo del proceso de elaboración del proyecto

La planificación de la gestión del proyecto es un componente importante de todos los pasos de la elaboración del proyecto, con un énfasis que va cambiando a medida que avanza el proyecto (véase el cuadro 4.3).

CUADRO 4.3. Áreas ilustrativas destacadas de la planificación de la gestión del proyecto a lo largo del proceso de elaboración del proyecto

PASO DEL PROYECTO	ÁREA DESTACADA DE LA PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO
Planificación	• Establecimiento de la planificación de la gestión del proyecto, incluida la estructura organizativa, la gestión, la gestión de riesgos, la dotación de personal, el control del diseño, el proceso de garantía de calidad (GC)/control de calidad (CC) y los sistemas y estrategias de comunicaciones internas y externas • Planificación socioambiental preliminar, incluida la investigación de sitios considerados patrimonio cultural • Planificación de la adquisición de terrenos, planificación de la reubicación de servicios públicos y otros servicios jurídicos • Planificación de la ejecución y las adquisiciones • Planificación financiera • Nivel geotécnico de la planificación de detalles
Diseño preliminar y detallado	• Actualización de toda la planificación de la gestión del proyecto y toda otra planificación y documentación de diseño pertinente para prepararse para las siguientes fases del proceso de desarrollo del proyecto • Optimización del proyecto (capítulo 6) • Evaluación del impacto socioambiental • Implementación del plan de adquisiciones • Secuenciación de la construcción de obras civiles (capítulo 11) • Planificación de sistemas y adquisición de material rodante • Planificación de la gestión de la seguridad • Procedimientos de GC/CC y supervisión e inspección de la construcción
Construcción	• Actualización de toda la planificación de la gestión del proyecto y toda otra planificación y documentación de diseño pertinente para prepararse para las siguientes fases del proceso de elaboración del proyecto • Supervisión de la construcción • Planificación de las pruebas, la puesta en marcha y el servicio comercial inicial
Puesta en marcha y pruebas	• Supervisión de la puesta en marcha y las pruebas • Preparación para el servicio comercial
Operación	• Examen y optimización de la calidad del servicio • Análisis *ex post*

A medida que el proyecto se desarrolla, se van finalizando ciertos diseños y se van alcanzando ciertos hitos de construcción. En general, a través de la planificación de la gestión del proyecto se prepara el proyecto para la siguiente fase del proceso. Por ejemplo, durante la planificación de la gestión en la fase de planificación a nivel de los corredores se establecen muchos de los procedimientos, el financiamiento, las adquisiciones y los planes de dotación de personal para prepararse para el diseño del proyecto y la ejecución del proyecto. A medida que el proyecto avanza hacia la fase de diseño, se da inicio a los esfuerzos de planificación de la gestión del proyecto, correspondientes a la construcción, incluidos planes para la supervisión de la construcción, las inspecciones y la gestión de la seguridad. Al inicio de la construcción, se hace hincapié en la gestión de la adquisición de sistemas y vehículos y en la planificación inicial de las pruebas, la puesta en marcha y el servicio comercial. En esta instancia, el énfasis de la planificación de la seguridad pasa de la seguridad de la construcción a la seguridad del sistema en su conjunto una vez que comienza el servicio comercial.

Incluso después de que el proyecto está finalizado, los gerentes de proyecto y el organismo de ejecución pueden beneficiarse de un seguimiento y un examen continuos del sistema y su calidad de servicio. Un examen *ex post* del proceso de elaboración del proyecto desde la planificación hasta el servicio comercial inicial puede ayudar a los organismos de ejecución a identificar factores de incertidumbre y riesgos que se hayan manifestado a lo largo de todo el proyecto y extraer enseñanzas para futuros proyectos. Estos exámenes *ex post* deben extenderse, como mínimo, a lo largo de cinco años, y tomar en cuenta no solo la ejecución de las obras de construcción, sino también la eficiencia de las operaciones iniciales y el mantenimiento de las instalaciones. Tener en cuenta la operatividad final del sistema arroja luz sobre cualquier problema, presente desde las fases de planificación y diseño, que afecte el proyecto justo después de que se haya completado la construcción. Así, estos organismos pueden aprender a mitigar estas incertidumbres y estos riesgos en proyectos futuros. Aprender de los errores y éxitos de proyectos anteriores es especialmente importante en las grandes redes de transporte ferroviario urbano, en que las tareas a menudo se ejecutan de una línea o de un proyecto por vez.

La planificación de la gestión en grandes proyectos ferroviarios urbanos incluye muchos aspectos. Una planificación de la gestión debidamente desarrollada debe plasmarse en un documento escrito donde se definan todas las tareas necesarias para la ejecución del proyecto. En este documento deben describirse políticas, prácticas y procedimientos relacionados con la gestión, el diseño y la construcción del proyecto, así como también las funciones y responsabilidades del personal en la realización de cada tarea. Debe redactarse en las primeras instancias de la elaboración del proyecto y actualizarse periódicamente. Si bien la especificidad del documento debe adaptarse a la fase del proceso de

elaboración del proyecto, siempre deben incluirse detalles en relación con los costos, el cronograma, el riesgo, los controles, el seguimiento y los procedimientos de elaboración de informes, junto con otros contenidos. En el programa de financiamiento de la Administración Federal de Transporte (FTA) de los Estados Unidos para grandes inversiones de capital conocido como New Starts se establecen requisitos donde se ilustran los contenidos que podrían incluirse en un plan de gestión de un proyecto (véase el recuadro 4.3).

RECUADRO 4.3.

Contenido obligatorio del Plan de Gestión del Proyecto del Programa New Starts de la FTA de los Estados Unidos

Como mínimo, un plan de gestión del proyecto debe incluir lo siguiente:

- Una descripción de la organización adecuada del personal del beneficiario, con información completa sobre relaciones de subordinación debidamente definidas, declaraciones de responsabilidades funcionales, descripciones de los puestos y calificaciones para los puestos.
- Un presupuesto que contemple la organización de la gestión del proyecto, consultores adecuados, adquisición de propiedades, reubicación de servicios públicos, personal para demostración de sistemas, auditorías y costos varios que el beneficiario esté en condiciones de justificar.
- Un cronograma de construcción.
- Un procedimiento de control de la documentación y un sistema de mantenimiento de registros.
- Un procedimiento de órdenes de modificación que incluya un enfoque sistemático documentado para la gestión de las modificaciones en la construcción.
- Una descripción de las estructuras organizativas, las aptitudes gerenciales o técnicas y los niveles de dotación de personal necesarios durante la fase de construcción.
- Programas de control y garantía de calidad donde se definan las funciones, los procedimientos y las responsabilidades para la construcción y para la instalación y la integración de los componentes del sistema.
- Políticas y procedimientos sobre pruebas de materiales.
- Gestión de la seguridad.
- Implementación de un plan interno y requisitos de elaboración de informes.
- Criterios y procedimientos que deben aplicarse para la comprobación del sistema operacional o sus componentes principales.

Además de estos componentes, la FTA también exige actualizaciones periódicas del plan, en especial en relación con el presupuesto y el cronograma del proyecto (que deben realizarse mensualmente), el financiamiento, las estimaciones de la cantidad de pasajeros y el estado de las iniciativas locales orientadas a mejorar la cantidad de pasajeros cuando las estimaciones al respecto dependan parcialmente del éxito de dichas iniciativas. El motivo de la obligatoriedad de esta actualización periódica es que, a medida que un proyecto avanza a lo largo del proceso de elaboración, las estimaciones del presupuesto, el cronograma y la funcionalidad se tornan más precisas.

Fuente: FTA, 2016, pp. 2–21.

Gestión de la planificación

En los primeros pasos de la planificación de la elaboración del proyecto, es posible que aún se estén examinando varias alternativas de modalidades (véase el capítulo 3). Durante estos pasos, el organismo de ejecución del proyecto debe decidir si invertir o no en el diseño de un proyecto ferroviario urbano y qué trazado en planta y alzado general podría adoptar el sistema. Este tipo de decisiones conceptuales pueden determinar el éxito o el fracaso del proyecto y deben analizarse desde diferentes puntos de vista. Es especialmente importante involucrar a representantes de todas las fases de elaboración del proyecto (incluidos el diseño, la construcción y la operación) durante la planificación, cuando las decisiones inciden en la "ejecutabilidad" a largo plazo del proyecto.

Durante la planificación, la gestión del proyecto se centra en establecer un personal adecuado tanto del organismo como de consultoría con relaciones de subordinación, responsabilidades funcionales, descripciones de los puestos y calificaciones para los puestos, debidamente definidas en relación con las actividades de planificación. Además de la planificación de organización, la gestión de riesgos también se adopta lo antes posible en el proceso de elaboración del proyecto. Esto se debe a que el nivel de incertidumbre y la variabilidad del alcance, el calendario y las estimaciones de costos son mayores al comienzo de un proyecto.

Asimismo, a modo de preparación para el diseño y la ejecución, a través de la planificación de la gestión del proyecto debe establecerse un proceso de control del diseño, que incluya sistemas de control de la documentación y mantenimiento de registros. Deben establecerse procedimientos para realizar el seguimiento y el control del alcance, el presupuesto y los costos y el cronograma del proyecto por medio de las herramientas fundamentales de planificación de la gestión de proyectos que se describieron anteriormente. Asimismo, deben elaborarse procedimientos de garantía de calidad (GC)/control de calidad (CC) para el diseño, y deben comenzarse los planes de obtención de vías segregadas y terrenos, y de reubicación de servicios públicos.

Gestión de las adquisiciones

Un componente importante de la planificación de la gestión del proyecto durante la planificación inicial es la elaboración de planes de adquisiciones generales y de terrenos. Un plan de adquisiciones se elabora para posibilitar un proceso de adquisiciones y ejecución lo más ágil y eficaz en función de los costos posible. En él se detalla qué elementos del proyecto deben incluirse en cada contrato propuesto, así como el cronograma detallado de todas las aprobaciones internas y externas. También se detalla qué método de adquisiciones se utilizará y por qué.

El plan de adquisiciones debe considerarse durante el paso de planificación, al principio de la elaboración del proyecto, porque el nivel de detalle del diseño del proyecto y la función del organismo de ejecución del proyecto durante la ejecución están condicionados por el mecanismo de adquisiciones. Por ejemplo, en un método de ejecución tradicional del proyecto de diseño, licitación y construcción, el organismo de ejecución del proyecto planifica servicios de diseño detallados y se encarga de su contratación; a continuación por separado se realiza la licitación y contratación de servicios de construcción de uno o más contratistas o proveedores de equipos. Sin embargo, con métodos alternativos de ejecución de proyectos que combinan servicios de diseño y construcción en una única oferta o que suponen una mayor participación del sector privado en la gestión del proyecto, es muy probable que la planificación de las adquisiciones tenga una estructura diferente. Con métodos alternativos, el plan de adquisiciones puede centrarse menos en los detalles del diseño y más en los procedimientos relativos a la supervisión del contratista y el desempeño del proyecto. En el capítulo 8 se brinda más información sobre las ventajas y las desventajas de los diferentes métodos de ejecución del proyecto.

Gestión de la adquisición de terrenos

La adquisición de terrenos puede ser considerable en los proyectos ferroviarios urbanos y puede ocasionar demoras en el inicio de la construcción del proyecto (véase el capítulo 11). Si bien algunas de estas demoras pueden deberse a la obtención de permisos y derechos sobre terrenos, otras pueden atribuirse a cuestiones sociales y ambientales relacionadas con la adquisición de terrenos, como la existencia de restos arqueológicos o paleontológicos y otras cuestiones inherentes al patrimonio cultural, la descontaminación de tierras o la protección de zonas sensibles en términos patrimoniales o ambientales (véanse los capítulos 14 y 15). En las primeras instancias de la fase de diseño, debe elaborarse un plan de adquisición de terrenos a partir de la información generada por las evaluaciones del impacto social y ambiental, el cual deberá ejecutarse con anterioridad al comienzo de la construcción. En este plan se describen las funciones y las responsabilidades de los distintos organismos que participarán en la adquisición de terrenos, y se incluye un cronograma para la adquisición de propiedades. En el plan también se describe el personal del principal organismo responsable de la adquisición de terrenos y se establece su autoridad en relación con el derecho de expropiación. Se recomienda enfáticamente comenzar lo antes posible con la adquisición de terrenos y las reubicaciones necesarias para evitar afectar el cronograma de la ruta crítica del proyecto (véase también el capítulo 11).

Gestión del diseño

La fase de diseño de un proyecto requiere de la participación de personal de muchas especialidades distintas. La documentación del diseño es voluminosa, por lo que un sistema de control de la documentación es un componente necesario de este proceso. En el sistema de control de la documentación se almacenan los borradores de los documentos de diseño junto con las observaciones de los distintos examinadores y se crea un registro de los cambios incorporados en el diseño y de los aportes de los diversos grupos de interés del proyecto. Las nuevas tecnologías, como el BIM, pueden ofrecer plataformas de diseño colaborativo y herramientas de gestión de proyectos para administrar los aportes de las diferentes partes al diseño.

Modelado de información de construcción

El BIM es el proceso que consiste en diseñar obras de ingeniería civil de manera colaborativa por medio del uso de un único sistema coherente de modelos de computadora. Utiliza paquetes de *software* que representan las características físicas y funcionales de las estructuras de ingeniería en formato digital para gestionar los cambios durante la construcción del proyecto y para brindar información compartida actualizada a los gerentes de proyecto, contratistas y otros grupos de interés clave. El BIM ofrece enormes ahorros en términos de costos y tiempo, una mayor precisión en las estimaciones, una mejor ejecución del proyecto y una menor cantidad de errores, alteraciones y reformulaciones debido a pérdidas de información (Crossrail Ltd., 2017) (véase el recuadro 4.4).

La adopción del BIM supone mucho más que un simple cambio del *software* utilizado. Para poder aprovechar todos los beneficios que ofrece, todos los que participan en la gestión, la arquitectura, la ingeniería y la construcción del proyecto deben aprender a trabajar juntos de formas fundamentalmente nuevas. El BIM es un nuevo paradigma que involucra implica tanto una nueva tecnología como nuevos procesos de trabajo multidisciplinario y colaborativo.

Hay hitos bien diferenciados que definen distintos niveles de colaboración (0-3) que implican mayores grados de sofisticación y recompensa (McPartland, 2014):

- *Nivel 0:* En este nivel, no hay colaboración efectiva. Se utilizan trazados bidimensionales de diseño asistido por computadora (CAD) que luego se distribuyen en formato impreso o por medio de capturas electrónicas. La mayor parte del sector de la construcción ya ha superado holgadamente este nivel.
- *Nivel 1:* Este nivel de colaboración generalmente comprende una combinación de CAD tridimensional para el concepto y el trazado bidimensional de documentación legal de aprobación. Se aplica una norma común a todos los planos, y los datos se comparten electrónicamente desde un entorno de datos

RECUADRO 4.4.

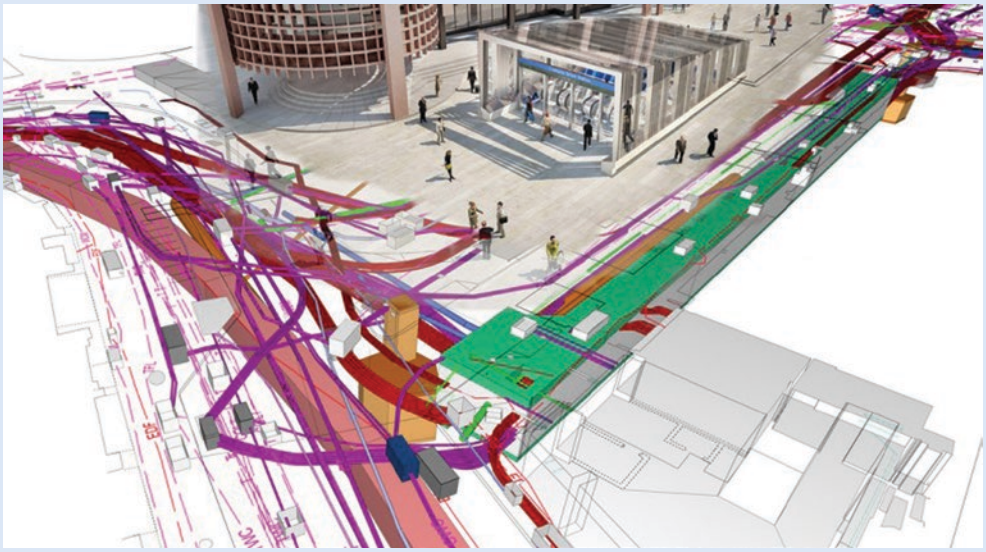
Modelado de información de construcción en el Reino Unido y México

El Gobierno británico ha reconocido el valor del paradigma del BIM al anunciar en 2011 que exigiría un BIM tridimensional colaborativo (con información, documentación y datos íntegramente electrónicos del proyecto y los activos) de nivel 2 como norma mínima para los proyectos de construcción públicos, con cumplimiento efectivo para 2016 (Oficina del Consejo de Ministros, 2011). En 2015, reafirmó su compromiso con el BIM con el lanzamiento de la estrategia Digital Built Britain en pos de la implementación del BIM de nivel 3 (Departamento de Negocios, Innovación y Habilidades, 2015).

En línea con las orientaciones estratégicas nacionales, Crossrail fue uno de los primeros grandes proyectos de infraestructura de transporte en materializar plenamente el concepto del BIM (véase la imagen B4.4.1). Crossrail implementó el BIM para optimizar 25 contratos de diseño, 30 contratos de obras avanzadas y más de 60 contratos de logística y construcción de obras principales involucrados en el proyecto. Crossrail también planea utilizar el BIM para materializar ahorros a largo plazo en costos operacionales mediante la provisión de información precisa sobre el diseño de los sistemas a los operadores del transporte ferroviario que se encargarán de la gestión de los activos estructurales tras la construcción.

Si bien aún no es obligatorio, el BIM también se ha utilizado con éxito para reducir riesgos y costos en el diseño de proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio. Por ejemplo, el BIM se está utilizando en México en todo el proceso de desarrollo de la tercera fase del tren interurbano (Notimex, 2017).

IMAGEN B4.4.1. BIM del corredor de servicios públicos debajo del área de boleterías de Liverpool Street: Crossrail, Londres



Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

común, a menudo administrado por el contratista, pero los modelos no se comparten entre los miembros del equipo del proyecto. Muchas empresas actualmente operan en este nivel.

- *Nivel 2:* En este nivel, todas las partes utilizan sus propios modelos CAD tridimensionales y comparten información de diseño a través de un formato de archivo común. Este intercambio de datos colaborativo y estandarizado permite que una organización fusione datos de otras partes con los suyos para realizar un BIM combinado y ponerlo a prueba para verificar su compatibilidad de diseño y funcionamiento.
- *Nivel 3:* También conocido como "BIM abierto", el nivel 3 representa una colaboración plena entre todas las disciplinas; se mantiene un único modelo compartido del proyecto en un repositorio centralizado. Todas las partes pueden acceder al mismo modelo y modificarlo. De este modo, se elimina el riesgo de contar con información contradictoria. Para avanzar a este máximo nivel, es menester resolver cuestiones inherentes a los derechos de autor y la responsabilidad por medio de sólidos documentos de designación, permisos de lectura y escritura del originador del *software* y vías de adquisiciones de riesgo compartido, como las asociaciones.

Garantía de calidad/control de calidad

Cuando se comienza con el diseño, es fundamental la utilización de un programa de GC/CC. En la GC, se hace hincapié en la creación de las actividades sistemáticas necesarias para transmitir la confianza de que el proyecto cumple con las especificaciones y tendrá un desempeño satisfactorio al momento de la puesta en servicio. El CC se refiere a la medición, la evaluación y la inspección de los procesos y los productos con el fin de garantizar que cumplan con los requisitos. Juntos, la GC y el CC conforman un sistema eficaz para garantizar que toda labor en el marco del proyecto se lleve a cabo de conformidad con los requisitos establecidos por el equipo de gestión del proyecto. La GC y el CC se realizan principalmente durante el diseño del proyecto, pero se extienden a lo largo de la construcción de la infraestructura, la adquisición de material rodante y la operación.

Durante el diseño, las medidas de GC/CC se centran mayormente en el examen de la documentación y los servicios de ingeniería. Se necesitan procedimientos para controlar y verificar el diseño del proyecto a fin de garantizar el cumplimiento de los criterios de diseño y demás requisitos. En estos procedimientos, debe estipularse la realización de rigurosos exámenes de todos los planos y las especificaciones relacionadas. Las discrepancias en cuanto a la ubicación, las dimensiones y la función deben rectificarse antes de poder

proceder con los siguientes pasos de la elaboración del proyecto. Para evitar conflictos de intereses, es importante que las funciones de GC/CC sean desempeñadas por personal que sea independiente, desde el punto de vista organizativo, de los responsables de realizar la tarea que se está examinando.

También es aconsejable que los equipos de gestión dediquen tiempo y recursos a la optimización del proyecto durante la fase de diseño. Pueden implementarse varias metodologías —incluidos revisiones por pares, análisis de valor, ingeniería de valor, estudios de viabilidad de la construcción y exámenes de operatividad— durante el diseño a fin de garantizar la rentabilidad del proyecto (este tema se analiza en mayor profundidad en el capítulo 6).

Gestión de la construcción

Durante la construcción, los contratistas construyen instalaciones fijas, instalan equipos e integran las instalaciones y los equipos en un sistema funcional. La gestión de la construcción implica supervisar los contratos de construcción con el fin de garantizar que los productos contractualmente estipulados se obtengan a tiempo y con los costos y la calidad acordados. El objetivo es garantizar que todas las obras se realicen de la manera más eficiente y con una observancia plena de los requisitos contractuales.

En un método de ejecución tradicional de un proyecto de diseño, licitación y construcción, el organismo de ejecución del proyecto generalmente es responsable de las adquisiciones y la coordinación de las actividades de uno o más contratistas de construcción o proveedores de equipos. Tiene a su cargo funciones como la seguridad de la construcción y la supervisión de la seguridad, la interacción con los diseñadores, el cronograma general del proyecto, el control del presupuesto y la garantía de calidad. Sin embargo, con un seguimiento adecuado, algunas funciones de construcción, como la descontaminación, pueden delegarse al contratista, quien a menudo posee conocimientos técnicos más específicos y, probablemente, experiencia práctica con los problemas inherentes a la construcción.

En los métodos alternativos de ejecución de un proyecto, como el de diseño y construcción y el uso de asociaciones público-privadas (APP), muchas de las responsabilidades del organismo de ejecución del proyecto se asignan al contratista (véanse los capítulos 8 y 9). Así y todo, la autoridad final respecto del proyecto sigue correspondiéndole al promotor del proyecto. Mientras más sean las partes contractuales, más interacciones se generarán. Las funciones y responsabilidades entre las diferentes partes deben designarse y delimitarse cuidadosamente, ya que cualquier superposición o deficiencia en las responsabilidades constituye una fuente de conflicto que puede causar demoras o generar oportunidades para que las partes discutan por más fondos.

Es esencial contar con una organización de GC/CC estructurada, experimentada y con personal suficiente durante la construcción. Normalmente, la responsabilidad de GC se mantiene en manos del organismo de ejecución del proyecto, mientras que la responsabilidad de CC se delega al contratista, y las inspecciones son responsabilidad de una empresa independiente de comprobación. Los organismos de ejecución del proyecto deben prestar especial atención a toda optimización del diseño propuesta por los contratistas y a la calidad de ejecución de las obras de construcción, áreas clave donde los contratistas pueden intentar recortar gastos para recuperar dinero de su oferta inicial.

Puesta en marcha, pruebas y operación a corto plazo

A medida que avanza la ejecución del proyecto, el personal debe planificar la puesta en marcha de la operación y el inicio del servicio comercial. Para esta fase, debe realizarse una planificación anticipada a fin de evitar demoras en el inicio de la operación una vez finalizada la construcción y permitir una transición fluida hacia esta nueva fase. La puesta en servicio es un componente importante de esta fase. Es un proceso que consiste en validar los equipos y sistemas del proyecto en coordinación con el personal de operación y partes externas. Destinar tiempo y recursos suficientes a la puesta en servicio permite minimizar los riesgos de demoras, costos superiores a los previstos y un desempeño deficiente de los equipos de apoyo mecánico y eléctrico.

Es necesario elaborar un programa integrado de pruebas y puesta en marcha. Las pruebas posibilitan la verificación, validación y documentación del desempeño del sistema y sus características funcionales. Se elaboran procedimientos de operación y se los documenta en los manuales correspondientes. Estos manuales sirven para capacitar al personal de operación y mantenimiento, quienes luego adquieren la experiencia práctica en relación con el sistema a partir de pruebas de simulación de operaciones. En los proyectos de acondicionamiento o ampliación de infraestructura previa, a menudo se introducen sistemas nuevos o diferentes en los sistemas ferroviarios existentes. Esta integración debe analizarse minuciosamente, ya que las nuevas incorporaciones pueden generar efectos en cascada en el sistema. Es muy aconsejable contar con ingenieros certificados que se encarguen específicamente de la gestión de la configuración, incluido un exhaustivo análisis de los peligros de los nuevos componentes o tecnologías.

Es particularmente importante incluir la perspectiva de un "operador en la sombra" en la planificación de la gestión del proyecto desde el diseño preliminar hasta la puesta en marcha y las pruebas a fin de verificar que el plan del organismo de ejecución del proyecto coincida con la adquisición del material rodante

y la ejecución del servicio por parte del operador privado. Las discrepancias o inconformidades entre el proyecto ejecutado y la planificación del servicio del operador pueden traducirse en demoras en la puesta en marcha, costos adicionales para la modificación de los activos o mayores costos de operación y mantenimiento a lo largo de la vida útil del servicio.

Operación y mantenimiento a medio y largo plazo

Incluso cuando la operación y el mantenimiento se entregan en concesión a un socio privado durante varios años, es importante que el organismo de ejecución del proyecto realice un seguimiento de los objetivos y el desempeño en materia de operación y mantenimiento, y los reevalúe periódicamente. Contar con personal del organismo de supervisión que esté familiarizado con el mantenimiento y la operación de la infraestructura es fundamental cuando los sistemas o los activos de capital llegan al final de su vida útil, se renueva el material rodante o se amplía o moderniza el sistema ferroviario urbano. Asimismo, hacer que el personal adquiera experiencia suficiente con el tiempo es fundamental cuando finaliza la concesión, y es necesario decidir si la operación y el mantenimiento del sistema se van a recuperar o se van a volver a presentar a licitación.

Conclusiones y recomendaciones

La ejecución de un proyecto ferroviario urbano es un emprendimiento extremadamente complejo, y de casos anteriores se desprende que en muchos proyectos se incurre en una subestimación de los costos, gastos superiores a lo presupuestado y retrasos en el cronograma. Una buena planificación de la gestión del proyecto reduce el riesgo de que, debido a acontecimientos imprevistos, el cronograma de ejecución de un proyecto sufra demoras, se generen costos superiores a los previstos y sean necesarios ajustes en el alcance. También es una herramienta clave para mejorar la rendición de cuentas en el marco de un proyecto. En la mayoría de los países de ingreso bajo y medio, los proyectos ferroviarios urbanos posiblemente se encuentren entre los mayores megaproyectos emprendidos en su historia moderna, lo cual hace de la cuidadosa planificación de su gestión un aspecto aún más importante. Como la experiencia con la gestión de megaproyectos a menudo es limitada en estos países, los principios de planificación de la gestión de proyectos posiblemente también sean escasos, y esto aumenta los riesgos del proyecto. En esta última sección se sintetizan las principales conclusiones y enseñanzas aprendidas en relación con una buena planificación de la gestión de un proyecto para el desarrollo de ferrocarriles urbanos.

El control del alcance del proyecto, el control del presupuesto y el control del cronograma son los ingredientes básicos para una ejecución exitosa y fiable del proyecto: son la esencia de la planificación de la gestión del proyecto. La ejecución exitosa de un proyecto se ve limitada por tres factores interrelacionados: el alcance del proyecto, el presupuesto y el cronograma. Las herramientas fundamentales de planificación de la gestión de proyectos pueden ayudar al personal técnico y a los principales responsables de la toma de decisiones a mantener la vista en estas tres variables y a evaluar y gestionar los riesgos del proyecto. La planificación de la gestión del proyecto contribuye a definir y establecer la estructura organizativa, el control del diseño y los procesos de mitigación de riesgos que son fundamentales para minimizar la aparición de órdenes de modificación, presupuestos mayores a los previstos y demoras. A medida que el proyecto avanza desde la planificación inicial hasta la ejecución, estas herramientas pueden ayudar, de manera continua, a definir mejor las estimaciones y prever posibles riesgos, demoras o costos adicionales. Sin una planificación cuidadosa de la gestión del proyecto, hay grandes probabilidades de que se produzcan riesgos e impactos considerables.

La planificación de la gestión del proyecto mejora la credibilidad del proyecto entre los socios y las entidades de financiamiento. Una buena planificación de la gestión del proyecto genera confianza en los organismos que proveen fondos al proyecto, al demostrar que se está llevando a cabo una planificación adecuada con la antelación necesaria para evitar que se presenten problemas durante la ejecución. La estructura de control del proyecto lograda a través de buenas prácticas de planificación de la gestión del proyecto —sumada a un sólido equipo de gestión del proyecto capaz de mantener una comunicación eficaz y demostrar un buen criterio—brinda la confianza de que el proyecto está siendo, y seguirá siendo, debidamente gestionado.

Es necesaria una planificación seria de la gestión del proyecto desde el inicio del proyecto y a lo largo de todas las fases del proceso de desarrollo del proyecto. Si bien la planificación de la gestión del proyecto es un elemento clave en todas las fases del proceso de desarrollo del proyecto, mientras antes se implemente, mejor. La planificación de la gestión del proyecto es un enfoque "vivo" cuyo énfasis va variando a medida que el proyecto avanza a lo largo de las fases de planificación, diseño, construcción y operación. En cada fase del proceso de desarrollo del proyecto, la planificación de la gestión del proyecto es fundamental para la ejecución de la fase en curso y también para prepararse de manera proactiva para la fase siguiente.

El apoyo de los grupos de interés, la cuidadosa elección del personal multidisciplinario y los métodos eficaces de comunicación en los niveles

técnico y gerencial son fundamentales para el éxito de los proyectos. Para la ejecución de cualquier proyecto complejo, como los proyectos ferroviarios urbanos, es necesaria una base amplia de disciplinas técnicas. Sin embargo, la planificación multidisciplinaria debe equilibrarse con la celeridad en la toma de decisiones. La planificación de la gestión del proyecto puede ayudar a sintetizar los conocimientos y las recomendaciones de un grupo multidisciplinario de personal técnico de todas las áreas y los componentes de un proyecto ferroviario urbano y luego permitir comunicar estas recomendaciones a un equipo básico de gestión del proyecto. Este equipo de gestión del proyecto, con una línea directa de comunicación con los responsables de la toma de decisiones, puede garantizar que la ejecución del proyecto se lleve a cabo de conformidad con las buenas prácticas en todos los ámbitos (como diseño, construcción, sistemas, operación, finanzas, cuestiones jurídicas y relaciones públicas). Las buenas prácticas de documentación, seguimiento y supervisión son esenciales para gestionar el proyecto y comunicar los diversos aspectos gerenciales y técnicos del proyecto entre los principales grupos de interés tanto internos como externos.

Si este es el primer proyecto ferroviario urbano de un organismo, es recomendable considerar la posibilidad de obtener ayuda externa, pero también es esencial gestionar debidamente esa asistencia. Para los organismos que emprenden por primera vez un proyecto ferroviario urbano, puede ser vital contar con la presencia de expertos internacionales actualizados en ciertas áreas técnicas, pero al mismo tiempo es indispensable que el personal interno supervise a estos consultores y trabaje con ellos para adquirir conocimientos perdurables y fortalecer la capacidad del propio organismo de ejecución del proyecto. Es necesario capacitar al personal interno para que alcance un nivel de liderazgo gerencial y técnico suficiente para asegurar la debida gestión del proyecto.

En cuanto a la ejecución exitosa de un proyecto, una buena planificación de la gestión da lugar a altas tasas de rentabilidad de la inversión. La planificación de la gestión de un proyecto no es una inversión menor de tiempo y recursos; sin embargo, la experiencia internacional demuestra que el beneficio obtenido supera con creces los costos. En particular para los organismos que tienen poca experiencia en el desarrollo de ferrocarriles urbanos, algo que suele ocurrir en el caso de los países de ingreso bajo y medio, la planificación de la gestión del proyecto puede ayudar a identificar y mitigar riesgos que, de lo contrario, podrían atentar contra la ejecución exitosa de importantes mejoras de infraestructura o bien contra la reputación del organismo de ejecución del proyecto.

Nota

Los autores desean agradecer a Oscar Rodríguez y a Irene Portabales del Banco Mundial por sus contribuciones de contenidos, y también a los revisores Jorge Rebelo y Gerald Ollivier del Banco Mundial, Juan Pablo Alonso de BusTren, Juan Antonio Márquez Picón del Metro de Madrid, y Amsler Yves, Dionisio González y Laurent Dauby de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) por compartir su experiencia y sus críticas constructivas durante toda la preparación de este capítulo.

Bibliografía

Blin, Anne-Sophie y Andrew Eldred (2016), "Apprenticeships", *Crossrail Learning Legacy*, 27 de septiembre, https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/apprenticeships/.

Oficina del Consejo de Ministros (2011), "Government Construction Strategy", Oficina del Consejo de Ministros del Reino Unido, Londres. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/61152/Government-Construction-Strategy_0.pdf.

Crossrail Ltd. (2017), "Driving Industry Standards for Design Innovation on Major Infrastructure Projects", Crossrail, Londres. https://www.crossrail.co.uk/sustainability/innovation/driving-industry-standards-for-design-innovation-on-major-infrastructure-projects

Dempsey, Andrew (2017), "Over 1,000 Apprenticeships Delivered by Crossrail Programme", *Crossrail, Ltd. News Online,* 7 de diciembre, http://www.crossrail.co.uk/news/articles/over-1000-apprenticeships-delivered-by-crossrail-programme.

Departamento de Negocios, Innovación y Habilidades (2015), "Digital Built Britain: Level 3 Building Information Modelling—Strategic Plan", Departamento de Negocios, Innovación y Habilidades, Londres, https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/410096/bis-15-155-digital-built-britain-level-3-strategy.pdf.

Flyvbjerg, Bent, Nils Bruzelius y Werner Rothengatter (2003), *Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition*, Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Administración Federal de Transporte (FTA) (2016), *Project and Construction Management Guidelines,* Washington, DC: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/FTA_Project_and_Construction_Mgmt_Guidelines_2016.pdf.

Hillson, David A. (2002), "The Risk Breakdown Structure (RBS) as an Aid to Effective Risk Management", artículo presentado en la 5.ª Conferencia Europea de Gestión de Proyectos (Instituto de Gestión de Proyectos [PMI] Europa), Cannes, Francia, 19 al 20 de junio.

McPartland, Richard (2014), "BIM Levels Explained", *NBS Knowledge*, 1 de noviembre, https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained.

Notimex (2017), "Tren interurbano se construye con realidad virtual en lugar de planos", *Notimex*.

Pascutto, Nathan (2010), *Crossrail Skills and Employment Strategy,* Londres: Crossrail, Ltd., http://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-skills-employment-strategy/.

Wonneberg, James D. y Ronald D. Drake (2012), "Upgrade to a Geographic Schedule", en *North American Tunneling 2012 Proceedings*, editado por Matthew Fowler, pp. 493-501. Englewood, CO: Asociación de Minería, Metalurgia y Exploración.

Lecturas adicionales

Administración Estadounidense de Carreteras (FHWA) (2009), "Project Management Plan Guidance", Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Washington, DC, https://www.fhwa.dot.gov/majorprojects/pmp/pmp_guide_jan09.pdf.

Investigación de la Administración Federal de Transporte (FTA) (2012), *Construction Project Management Handbook,* informe 0015, Washington, DC: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No._0015.pdf.

Hillson, David A. (2003), "Using a Risk Breakdown Structure in Project Management", *Journal of Facilities Management* 2 (1): pp. 85-97, https://doi.org/10.1108/14725960410808131.

5

DISEÑO DE UN PROYECTO FERROVIARIO URBANO

Georges Darido, Joanna Moody y Wenyu Jia

Luego de tomar la decisión de avanzar con un proyecto ferroviario urbano para un corredor de gran demanda en particular (véase el capítulo 3) y llevar a cabo la planificación de la gestión del proyecto (capítulo 4), los responsables de la toma de decisiones deben analizar el diseño del sistema ferroviario urbano. Los proyectos ferroviarios urbanos de cualquier tamaño se deben abordar como un sistema que integra muchos subsistemas y componentes de diseño interconectados, entre los que se incluyen infraestructura (como vías, estaciones, y patios para mantenimiento y almacenamiento), material rodante, equipos electromecánicos y de alimentación de tracción, control de la señalización y de los trenes, asistencia para telecomunicaciones y operaciones, emisión de boletos e información sobre pasajeros.

La decisión de elaborar un proyecto ferroviario urbano se basa en estudios de factibilidad detallados y el diseño preliminar, que pueden significar un costo de varios millones de dólares para el organismo de ejecución del proyecto (véase el capítulo 3). Los estudios y sondeos técnicos, los análisis de alternativas y la decisión de emprender un proyecto ferroviario urbano son hitos importantes que preceden al diseño detallado del sistema, el cual representa una inversión aún más significativa de decenas de millones de dólares, según el proyecto. La

Fotografía: Cruce de vías en Washington, bucle "L", Chicago, Illinois, Estados Unidos, 2012.
Fuente: Autoridad de Tránsito de Chicago, a través de Flickr (CC BY_NC-ND).

inversión cuidadosa en el diseño detallado, si bien es costosa, es de suma importancia para que el proyecto se ejecute a tiempo y dentro del presupuesto.

Lo más probable es que el diseño propuesto afecte todos los pasos subsiguientes del desarrollo del proyecto, como las adquisiciones, la construcción y la operación. La primera decisión que debe tomarse y la más importante es determinar el plan de servicios a largo plazo para el corredor o el sistema ferroviario urbano (véase el capítulo 13). La mayoría de los aspectos inherentes al diseño y, por ende, el costo de capital y los costos de operación que estos implican dependerán del plan de servicios y la capacidad de diseño correspondiente. Se deben estimar cuidadosamente los costos de construcción para determinar los costos de capital del proyecto, los cuales se deben ajustar al presupuesto disponible (capítulo 10). También se debe estimar el costo de operación para crear un modelo financiero para la operación del sistema a largo plazo (capítulo 13). El diseño y el modelo financiero deben garantizar tanto la estabilidad fiscal a corto plazo durante la construcción como la asequibilidad y la sostenibilidad a largo plazo durante la operación.

En el diseño de cualquier sistema ferroviario urbano se deben incluir los impactos ambientales, sociales y económicos del proyecto, los cuales se deben volver a evaluar a medida que se avanza con el diseño del proyecto. El nivel de diseño detallado y de inversión en estudios técnicos, ambientales, financieros e institucionales que el organismo de ejecución del proyecto llevará a cabo antes de la licitación dependerá del método de adquisición usado para el proyecto. Sin embargo, es importante mejorar la capacidad técnica del organismo de ejecución del proyecto para evaluar las opciones de diseño integrado a fin de administrar todos los contratos de adquisiciones y para comprender las capacidades operacionales y las necesidades de mantenimiento del sistema. Incluso para los organismos de ejecución del proyecto que adquieren servicios de diseño detallado de otras entidades, es importante que su personal comprenda las características y opciones principales de los sistemas ferroviarios urbanos y su posible impacto en el costo y el rendimiento. Para organismos de ejecución de proyectos con menos experiencia o conocimientos, se recomienda enfáticamente fortalecer la capacidad interna a través de la gestión del diseño preliminar y el diseño detallado.

En este capítulo se presentan las ventajas y desventajas de las características y opciones clave del diseño de los ferrocarriles urbanos, la práctica de diseño actualmente recomendada y la manera de realizar las estimaciones de costos correspondientes de acuerdo con el nivel de detalle necesario para la ejecución del proyecto. También se presentan las compensaciones entre las características y los costos durante la fase de diseño y se analizan los factores externos al diseño del proyecto que afectarán el costo.

Si bien muchas de las características del diseño que se analizan en este capítulo pueden aplicarse tanto a los sistemas de metro como a los de tren metropolitano con plataforma segregada (a los que conjuntamente denominamos sistemas ferroviarios urbanos), algunas características son distintas. Por ejemplo, en los sistemas de tren metropolitano o suburbano (o incluso en la periferia de sistemas de metro fuera del centro de la ciudad), se suelen realizar viajes de mayor distancia con mayor espacio entre las estaciones. De esta manera, el material rodante puede lograr mayores velocidades máximas entre las paradas. Los sistemas ferroviarios suburbanos pueden tener menores frecuencias sin la necesidad de implementar sistemas de señalización avanzados para reducir el intervalo entre trenes. A diferencia de los sistemas de metro que se desarrollan para funcionar en núcleos urbanos densos, donde la urbanización existente y el valor del suelo suelen requerir infraestructura elevada o subterránea exclusiva, los sistemas ferroviarios suburbanos tienen mayores posibilidades de funcionar a nivel del suelo y pueden compartir la plataforma segregada con servicios ferroviarios de pasajeros o de carga de mayor distancia. Por lo tanto, la infraestructura, las especificaciones del material rodante, y los sistemas de señalización y control pueden diferir para estos dos tipos de sistemas. Dichas diferencias se indicarán a lo largo del capítulo según corresponda.

Desafíos clave en el diseño de los ferrocarriles urbanos

El diseño de los sistemas ferroviarios urbanos es complejo. Si bien muchas de estas complejidades se presentan en cualquier megaproyecto de transporte urbano, existen algunos desafíos en materia de diseño (como la falta de normas de diseño integrales, la necesidad de diseñar teniendo en cuenta la capacidad y sostenibilidad de la operación a largo plazo, las compensaciones y las interacciones entre las características del diseño, y la necesidad de una integración multimodal) que afectan exclusivamente al diseño de los sistemas ferroviarios urbanos.

Normas de diseño

No existen pautas ni normas integrales reconocidas para el diseño de los sistemas ferroviarios urbanos. Para algunos componentes del diseño, como las vías, existen estándares de ingeniería que definen determinados parámetros, como el diseño geométrico en términos de curvas verticales y horizontales. Sin embargo, en general, un sistema ferroviario urbano se construye con el fin de dar respuesta a las condiciones particulares de la zona urbana donde presta servicio. Hay muy pocos componentes disponibles en el mercado que puedan adquirirse

directamente, y realizar las adaptaciones necesarias consume muchos recursos. Algunos componentes de los sistemas ferroviarios urbanos se sometieron a los rápidos avances tecnológicos de los últimos años. Gran parte de este progreso sobrepasó los estándares tradicionales de ingeniería, que evolucionan más lentamente. Como resultado, algunas de las pautas más útiles para los diseñadores de sistemas continúan evolucionando y se hallan dispersas entre muchas fuentes, entre las que se incluyen la experiencia profesional en proyectos ferroviarios urbanos recientes en los que se implementan algunas de estas tecnologías nuevas, artículos en publicaciones arbitradas y presentaciones en conferencias técnicas.

Para cualquier región metropolitana del mundo, un contexto regulatorio requiere cumplir con las normas obligatorias a nivel local o nacional. Estas normas incluyen muchos de los elementos genéricos propios de cualquier proyecto de construcción pesada que implique, por ejemplo, obras de ingeniería civil, energía eléctrica, sistemas de comunicación, prevención de incendios y seguridad. Los proyectos ferroviarios urbanos suelen incluir características especializadas que no se encuadran dentro de estas normas obligatorias, por lo que suele observarse que los patrocinadores locales de proyectos adaptan las normas de otras jurisdicciones. Una especificación típica para un proyecto ferroviario urbano incluye referencias a normas internacionales o cita normas de determinados países que se pueden modificar para usarlos a nivel internacional (véase el cuadro 5.1). El uso de un conjunto específico de normas con frecuencia puede deberse a la disponibilidad de orientaciones en el idioma nativo de un país (por ejemplo, las normas de América Latina se ven muy influenciadas por las de España).

Diseño orientado a la capacidad necesaria a largo plazo

El diseño y la construcción de los sistemas ferroviarios urbanos deben permitir satisfacer las necesidades de la región metropolitana durante un período mínimo de 100 años, aunque la mayoría de los componentes de la infraestructura se deban rehabilitar o reemplazar dentro de los primeros 50 años. La capacidad de diseño del sistema es una decisión fundamental en la cual se debe tener en cuenta el crecimiento proyectado de la población y de la actividad económica en la región metropolitana. Sin embargo, es difícil prever la demanda de pasajeros y otros requisitos, como la resiliencia, con un horizonte a tan largo plazo (véase el capítulo 3).[1]

Implementar un sistema ferroviario urbano para un corredor que no tiene demanda en el corto plazo para usar la capacidad diseñada (sobredimensionado) implica costos de oportunidad, como el costo de operación y mantenimiento de la infraestructura y de los sistemas que no se utilizan lo suficiente. Al mismo tiempo, no diseñar la suficiente capacidad en un corredor con una alta demanda actual o

CUADRO 5.1. Normas de diseño relevantes para determinadas características de los sistemas ferroviarios urbanos

NORMAS INTERNACIONALES O MULTINACIONALES	NORMAS NACIONALES COMÚNMENTE CITADAS
• Organización Internacional de Normalización (ISO) • Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) • Norma Internacional de la Industria Ferroviaria (IRIS) • Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) y Euronorms (EN) – Organización Intergubernamental para los Transportes Internacionales por Ferrocarril (OTIF) – Unión de la Industria Ferroviaria Europea (Unife) – Comunidad de Ferrocarriles Europeos (CER) • Unión Internacional de Transporte Público (UITP) • Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) • Comisión Internacional de Iluminación (CIE) • Asociación Internacional de Ingeniería de Puentes y Estructuras (IABSE) • Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) e Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI)	• Asociación de Ferrocarriles Americanos (AAR) • Asociación Estadounidense de Transporte Público (APTA) • American Society for Testing and Materials (ASTM) • British Standards Institution (BSI) • Oficina de Normalización de India (BIS) • Instituto Alemán de Normalización (DIN) • Normas Industriales Japonesas (JIS) • Código Chino para el Diseño de Sistemas de Metro (GB 50157-2013)

futura implica costos importantes de oportunidad por la pérdida de actividad económica potencial debido a los viajes no realizados y también porque los cambios después de la implementación son extremadamente costosos.

Aunque algunos proyectos ferroviarios urbanos han tenido estimaciones demasiado optimistas en cuanto a la cantidad de pasajeros, la experiencia reciente en Asia y América Latina sugiere que la demanda puede aumentar rápidamente en mercados maduros de transporte público y que las oportunidades para ampliar la capacidad operativa son limitadas después de que se construya un proyecto. En el diseño y la elaboración de los proyectos debe contemplarse adecuadamente la ampliación de la capacidad en el futuro, especialmente si existe la oportunidad de adaptar el desarrollo urbano a la infraestructura ferroviaria urbana con el fin de generar una demanda aún mayor (véase el capítulo 16).

En los casos en los que el número de pasajeros a futuro es muy incierto, el diseño debe tener cierta flexibilidad. Al principio, con un aumento mínimo en el costo de capital se pueden incorporar opciones para mejoras futuras que permitan preparar la infraestructura para afrontar cambios imprevistos en la demanda (véase el capítulo 6). Si dicha flexibilidad (como la capacidad adicional de las estaciones y las reservas de terrenos para la ampliación de los patio talleres) no se incluye a priori, los aumentos de capacidad y otros cambios pueden ser

sumamente costosos o prácticamente imposibles en el futuro. Una vez que un sistema está construido, se lo debe operar y mantener de manera tal que permita maximizar la cantidad de pasajeros de acuerdo con la capacidad de diseño.

Los ferrocarriles urbanos son la solución de transporte urbano con la mayor y más confiable capacidad de traslado de pasajeros como resultado de una gran inversión de capital. Para los corredores con una demanda estimada de 20 000 a 50 000 pasajeros por hora por dirección, otras soluciones de transporte urbano como el autobús de tránsito rápido (BRT) o los sistemas de metro ligero pueden brindar niveles similares de servicio a un menor costo de capital inicial, pero implican compensaciones en relación con el costo de operación marginal por pasajero. Para los corredores con una cantidad proyectada de pasajeros de más de 50 000 por hora por dirección, ninguna alternativa existente para los ferrocarriles urbanos puede adaptarse de manera segura y confiable a un volumen de tráfico de esa magnitud (ONU-Hábitat, 2013; Zhang, 2009).

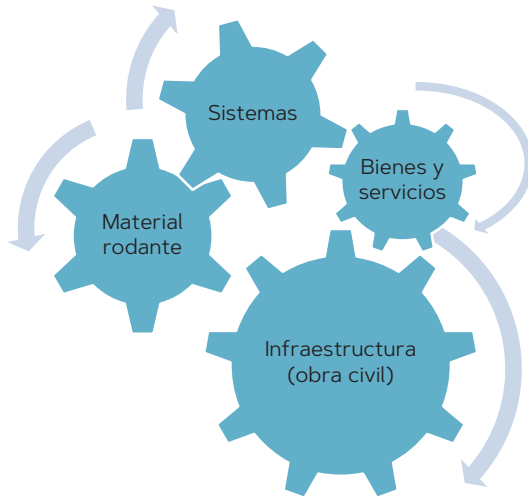
Debido a las preocupaciones por el costo de capital inicial, algunos sistemas ferroviarios urbanos de grandes ciudades con corredores densos se construyen con una capacidad de carga que es insuficiente para respaldar el crecimiento de la población y de la actividad económica. Estos sistemas llegan rápidamente a su capacidad máxima y experimentan el deterioro relacionado con la calidad del servicio, pero es difícil ampliarlos o mejorarlos. Para muchas de las características de diseño descritas en detalle en este capítulo, es mucho menos costoso que el diseño inicial contemple una mayor capacidad y una futura ampliación que implementar mejoras de forma retroactiva. La experiencia demuestra que las soluciones de readaptación y actualización en un contexto de operaciones activas pueden ser muy complejas o hasta inviables. Algunas características, como los trenes más amplios, son prácticamente imposibles de cambiar una vez que el sistema se encuentra en funcionamiento. Otras mejoras de la capacidad, como los sistemas de señalización y control, son factibles pero muy complicadas y suelen llevarse a cabo solamente después de que el equipo anterior haya llegado al final de su vida útil. Por lo tanto, es fundamental diseñar el sistema de manera tal que permita prever el crecimiento de la población y de la actividad económica en la región metropolitana donde esté ubicado (Banco Mundial y RTSC, 2017).

Compensaciones e interdependencias entre las características de diseño

Cada característica del diseño en particular tiene implicaciones o requiere compensaciones con respecto a la capacidad del sistema, la flexibilidad operacional, el desempeño del servicio y el costo. Es importante considerar las prioridades del propietario del proyecto, las preferencias del cliente y los objetivos finales en materia de desempeño durante el proceso de diseño. Por ejemplo, la capacidad

para trasladar pasajeros en las secciones de mayor demanda de la línea es uno de los parámetros más importantes del diseño porque afecta la cantidad y el tipo de trenes necesarios, el tipo y la longitud de los andenes de las estaciones, la forma de las estaciones, la cantidad de entradas y salidas con las que estas cuentan, y otras dimensiones del sistema. También puede afectar el trazado en alzado, la elección de la señalización y otros subsistemas, y la planificación y el mantenimiento del servicio (descrito en el capítulo 13).

GRÁFICO 5.1. Influencia de las interdependencias entre las características del diseño en el desempeño y el costo del proyecto



Además de estas compensaciones con respecto a las características individuales del diseño, es importante conocer las interdependencias físicas y temporales entre varias características. En el diseño del sistema, se debe considerar cuidadosamente la manera en que estas características interactúan y avanzan juntas (véase el gráfico 5.1). Por ejemplo, se pueden instalar sistemas de señalización avanzada para el control de trenes basado en comunicaciones (CBTC) a fin de reducir el espacio entre los trenes y permitir una mayor frecuencia de servicio en una sola vía. Sin embargo, la instalación de desvíos, cambios de agujas y otros elementos de la geometría de la vía también tiene que respaldar el movimiento eficiente de los trenes a esta mayor frecuencia; de lo contrario, no se concretará plenamente la mejora del servicio esperada a partir de la reforma de la señalización. Este es solo uno de los muchos ejemplos de cómo las características de señalización e infraestructura (obra civil) de un sistema ferroviario urbanos se deben diseñar juntas para obtener el máximo beneficio.

Habida cuenta de las compensaciones e interdependencias entre las características del diseño, es importante optimizar los diseños de los proyectos (véase el capítulo 6). La revisión de todos los diseños detallados y finales debe estar a cargo de ingenieros independientes debidamente calificados o consultores de supervisión que proporcionen validación o certificación de características importantes como la capacidad de construcción y la calidad de la infraestructura, la operatividad, y el desempeño y la seguridad vial y personal. El operador final del sistema o un operador en la sombra deben examinar los diseños para comprender las implicaciones a largo plazo de las características para la provisión y el mantenimiento del servicio. Las funciones y las responsabilidades deben

estar claramente asignadas entre el organismo de ejecución del proyecto y sus socios y contratistas. Aunque la asignación de responsabilidades para la optimización de proyectos y la gestión de la interfaz del diseño depende del método de ejecución adoptado para el proyecto, en todos los casos, las funciones poco claras o duplicadas pueden generar conflictos y costosas demoras. Como parte del proceso de diseño, se necesitan procedimientos claros para examinar y aprobar todos los documentos, lo que incluye propuestas de diseño alternativas y mecanismos contractuales para compartir costos o ahorros, si corresponde (véase el capítulo 4 para conocer más detalles sobre la supervisión técnica y la garantía de calidad).

Integración multimodal del diseño de los ferrocarriles urbanos

La integración multimodal (que incluye integración física, de operaciones y tarifaria) se debe considerar cuidadosamente en el diseño de los sistemas ferroviarios urbanos. La demanda máxima de pasajeros y otros efectos positivos como las economías de escala solo se pueden explotar completamente en una red de líneas y servicios jerárquicamente integrados (véase el capítulo 2). Por su naturaleza, los sistemas ferroviarios urbanos no brindan servicio puerta a puerta para pasajeros. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la manera en que las personas entran y salen de las estaciones del sistema cuando viajan desde su lugar de origen hasta su destino final. La cantidad de combinaciones posibles de los orígenes y destinos se multiplica con la creación de una red de líneas ferroviarias y opciones de movilidad complementaria. Por este motivo, en el diseño de una línea ferroviaria urbana, se deben considerar puntos de integración, terminales y conexiones con todas las demás opciones futuras y existentes de servicios e infraestructura de transporte. En particular, es importante integrar la línea ferroviaria urbana con otras modalidades de transporte público y no motorizado en lo que respecta al diseño físico, la operación, y la estructura tarifaria y la tecnología empleada para la venta de boletos.

La práctica demuestra que, cuando las características del diseño relacionadas con la integración multimodal solo se consideran a último momento, el proyecto suele sufrir importantes interrupciones en la gestión, aumentos de costos, demoras en la implementación y el riesgo de tener un desempeño operativo insuficiente. Se recomienda considerar el diseño del proyecto y su integración con otras modalidades y características del espacio público desde el inicio (a más tardar durante el diseño preliminar). Abordar estas características en el diseño final o durante la construcción suele resultar perjudicial para el valor del proyecto.

La ejecución exitosa de un proyecto ferroviario urbano suele requerir medidas adicionales relacionadas con el resto del sistema de transporte público y el

sistema de transporte urbano, como se especifica en una estrategia de movilidad urbana integrada para la región metropolitana (capítulo 3). Estas medidas pueden incluir inversiones adicionales o complementarias; la reorganización de los servicios de transporte público y privado existentes; cambios en la política tarifaria, la política de estacionamiento y otras normas de movilidad; la implementación de cargos por el uso de los caminos, y una reorganización institucional. Como mínimo, el diseño del sistema ferroviario urbano se debe complementar con un plan de servicio de tránsito en el corredor para integrar el servicio ferroviario con el servicio de autobuses y otras modalidades de acceso. Esta complementariedad suele requerir la reorientación de los recorridos de los autobuses (formales e informales) para pasar de ofrecer servicios en competencia a proporcionar servicios alimentadores a estaciones de ferrocarriles; la construcción de veredas y ciclovías conectadas, y quizás la proporción de instalaciones para estacionamiento al final de las líneas del tren metropolitano/suburbano (véase el capítulo 16).

Para evitar la posterior realización de costosas modificaciones o modernizaciones, es importante que en el diseño del sistema ferroviario urbano se tomen como referencia las estrategias más recientes de uso de suelo urbano y de transporte de la ciudad (véase el capítulo 3). Antes de iniciado el proyecto ferroviario urbano, las autoridades metropolitanas de transporte y otras partes interesadas relevantes deben asumir compromisos a largo plazo con respecto a la integración multimodal (y con respecto a la planificación del uso del suelo y el transporte, la gestión adecuada, el compromiso político a largo plazo y marcos de financiamiento estables.

Características y opciones de diseño

A nivel físico básico, un proyecto ferroviario urbano consta de infraestructura realizada mediante obra civil (como vías o estaciones), material rodante y diversos sistemas (como el de señalización o electrificación). En el proceso de diseño de un proyecto ferroviario urbano (ya sea un sistema completamente nuevo, una línea adicional para un sistema existente o la extensión de una línea existente), los diseñadores deben elegir entre las opciones disponibles para una amplia gama de características entre las que se incluyen la infraestructura, el material rodante y los sistemas (véase el gráfico 5.2). No existe un sistema ferroviario urbano "estándar", ya que muchas de estas opciones ofrecen compensaciones o distintos grados de costos y beneficios iniciales y permanentes. Al elegir entre las diversas opciones, es importante considerar las ventajas y desventajas en el contexto local específico.

GRÁFICO 5.2. Categorías clave y ejemplos de características del diseño para un sistema ferroviario urbano

En el resto de esta sección, se presentan las opciones disponibles dentro de cada característica, se resumen las ventajas y las desventajas de cada opción, y se hacen recomendaciones para elegir entre esas opciones.

Obra civil y de infraestructura

En términos generales, la obra civil y de infraestructura de un sistema ferroviario urbano constan de trazado en planta y alzado, vías, estaciones y terminales, y patios de maniobras e instalaciones complementarias.

Trazado

El trazado es una de las categorías de planificación y diseño más importantes de la infraestructura ferroviaria urbana. Los sistemas ferroviarios suburbanos y de metro tienen plataformas segregadas, las cuales requieren mayores inversiones y adquisición de terrenos junto al trazado, pero a cambio ofrecen un desempeño mayor que otras alternativas de transporte público de alta capacidad que operan con tráfico mixto. La categoría del trazado implica dos características principales del diseño:

- *Trazado en alzado.* La determinación de qué segmentos del sistema ferroviario urbano se construirán a nivel, elevados o bajo tierra.
- *Trazado en planta.* La determinación del recorrido de la línea férrea a través de la ciudad.

Para el trazado en alzado, la elección entre las opciones es compleja y depende de la topografía y las circunstancias de la ciudad en particular (véase el cuadro 5.2). Por ejemplo, el mayor costo inicial de un sistema ferroviario subterráneo se tiene que sopesar con los beneficios a largo plazo potencialmente mayores para el entorno urbano y natural. En las áreas centrales de ciudades

CUADRO 5.2. Opciones para las características del diseño del trazado en alzado

OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
A nivel	• Menores costos de construcción	• Posibilidad de incluir costos altos de adquisición de terrenos (dependiendo de la trazado en planta) • Mayor interrupción para el tráfico en superficie (vehículos y peatones), durante el período de construcción y después de él • Creación de barreras físicas entre vecindarios • Ruido moderado, vibración e impacto visual • Requerimiento de mayor cantidad de terrenos para las operaciones • Posibles peligros por intromisiones en la plataforma segregada; necesidad de vallado
Elevada	• Por lo general, más costosa que la construcción en superficie pero menos costosa que los túneles. • Alteración del tráfico en superficie mucho menor que la opción a nivel. • Menor impacto por vibración que los túneles o la opción a nivel. • Por lo general, menores costos de adquisición de terrenos que la opción a nivel.	• Acceso vertical más costoso que en la opción a nivel (construcción y tiempo y esfuerzo de los pasajeros). • Mayores costos de capital en mantenimiento a largo plazo debido al deterioro más rápido de los activos por factores climáticos y ambientales. • Mayor impacto visual y sonoro. • "Efecto barrera" moderado entre vecindarios, particularmente donde no se aprovecha lo suficiente el espacio que queda debajo de la estructura (capítulo 11).
Subterránea	• Impacto positivo en la forma urbana porque promueve el desarrollo denso y orientado al transporte público alrededor de las estaciones, lo que genera un mayor número de pasajeros y un incremento en el valor de los terrenos. • Sin creación de barreras físicas entre vecindarios; sin impacto visual. • Menor impacto sonoro; impacto moderado por vibración. • Posibilidad de ser percibida por el público como de mejor calidad. • Impacto limitado o nulo sobre el tráfico en superficie después de la ejecución del proyecto.	• Por lo general, mayor costo de construcción inicial, más tiempo necesario para la construcción y mayor costo para la ampliación futura de la capacidad, en comparación con las opciones a nivel o elevada. • Costo adicional para la ventilación y el control de la climatización en las estaciones. • Mayor tiempo de viaje y esfuerzo por parte de los pasajeros para moverse entre la entrada a la estación y el andén del tren.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.2. Opciones para las características del diseño del trazado en alzado *(Continuación)*

OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Subterránea	• Infraestructura y pasajeros protegidos de las condiciones climáticas. • Por lo general, menos adquisición de terrenos que la requerida en las opciones a nivel y elevada. *Para túneles profundos (a diferencia de los superficiales):* • Posiblemente ventajosa para rutas con topografía irregular o cruces de ríos y otras barreras. • Posiblemente menos costosa en términos de costos iniciales de construcción, ya que hay menos alteraciones para el desarrollo en superficie y los servicios públicos superficiales.	*Para túneles profundos (a diferencia de los superficiales):* • Por lo general, de operación más costosa debido a la gran cantidad de escaleras, escaleras mecánicas, ascensores y luces que se deben alimentar y mantener. • Mayor tiempo y esfuerzo por parte de los pasajeros para moverse entre los andenes del tren y la entrada a la estación.

más antiguas y densas, suele ser necesario desarrollar un sistema subterráneo para evitar la alteración intensa de las actividades urbanas provocada por la construcción y la operación de líneas en superficie o elevadas (véase el capítulo 11). Fuera del centro de una ciudad, un sistema ferroviario a nivel o elevado puede ser una manera práctica de proporcionar una mayor cobertura a un costo inicial menor. En áreas periféricas menos densas con un servicio de tren metropolitano, un enfoque común es construir la línea ferroviaria dentro de una plataforma segregada existente, como la mediana de una autopista o a lo largo del tendido de líneas de servicios públicos, lo que puede reducir significativamente los costos de adquisición de terrenos. En cada caso, antes de tomar una decisión, es importante tener en cuenta tanto el costo de capital inicial como los efectos a largo plazo en los resultados del sistema, el impacto en el desarrollo urbano y las consecuencias ambientales para el entorno.

La cantidad de opciones de diseño para el trazado en planta es mayor y es específica para la ciudad y el corredor en el cual se desarrolla el sistema ferroviario urbano. Al determinar el trazado en planta del sistema, las líneas deben estar lo más rectas posible y las estaciones se deben ubicar donde la posible demanda sea mayor y donde resulte más fácil extender la red en el futuro. Es fundamental considerar cuidadosamente la ubicación de los puntos de entrada y salida de las estaciones (incluidas las salidas de emergencia) además de la

ventilación y los pozos de bombeo. Con respecto a la accesibilidad local y universal se deben tener en cuenta la elección de ubicación, cantidad y tipos de entradas, colocación de ascensores y escaleras mecánicas, y otras consideraciones. Al determinar el trazado en planta, se recomienda usar terrenos públicos existentes en la mayor medida posible para minimizar las expropiaciones. Los terrenos públicos disponibles pueden ser parques o caminos, aunque la construcción a lo largo de la vía segregada de una carretera suele requerir más gestión del tráfico durante la implementación. El trazado en planta se debe realizar con el objetivo de minimizar la expropiación y el reasentamiento (véase el capítulo 14) y evitar zonas que puedan requerir un nivel importante de mitigación ambiental (véase el capítulo 15). Por ejemplo, la experiencia demostró que los trazados de proyectos que atraviesan gasolineras existentes suelen requerir medidas de recuperación de suelos contaminados que son costosas e insumen mucho tiempo. De manera similar, se debe evaluar cuidadosamente la tendencia a usar antiguos vertederos para los patios debido al costo que implica el tratamiento del suelo. Sin embargo, si se presupuestan adecuadamente en términos de costo y tiempo, estos proyectos pueden representar una oportunidad para la ciudad de limpiar y reutilizar los sitios contaminados.

Vías

Al diseñar un sistema ferroviario urbano, es importante considerar cuidadosamente el trazado de las vías, incluido el ancho o el espaciado de estas, la cantidad y el tipo de vías auxiliares y su distribución en el sistema, y el tipo de superestructura de vía (véase el cuadro 5.3). Existe una "buena práctica" muy aceptada para algunas de estas características del diseño de las vías. Por ejemplo, el ancho estándar es la opción preferida para las vías, a menos que haya una necesidad específica de mantener la compatibilidad con vías preexistentes y equipos que circulan con anchos que no son los estándares.

Sin embargo, para muchas otras decisiones sobre el diseño de las vías, se deben considerar las ventajas (valor) y las desventajas (suelen ser los costos) de las diferentes opciones. Por ejemplo, se debe diseñar un conjunto de vías apartadero y vías de paso (para permitir que los trenes salgan de la línea principal para dejar el paso a otros) conforme al plan de servicio para la operación y el mantenimiento del tren (teniendo en cuenta los estándares a los que se apunta con respecto al desempeño y la futura ampliación de la red). Las vías apartadero y vías de paso bien ubicadas en el sistema pueden mejorar ampliamente la capacidad de la red y la flexibilidad operacional, además de la resiliencia ante eventos adversos (es decir, eventos operativos especiales y peligros climáticos como inundaciones o incendios) (véanse los capítulos 13 y 17). Usar la mayor cantidad

CUADRO 5.3. Características y opciones del diseño de las vías

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ancho de vía	Ancho estándar según la UIC (1435 milímetros)	• Usado en todo el mundo para líneas ferroviarias urbanas, con pocas excepciones. • Más opciones de material rodante y otros equipos en el mercado, y, por lo tanto, costo mucho menor.	• Ninguna para proyectos sin infraestructura previa (desarrollos nuevos).
	Ancho no estándar	• Requerido para proyectos de ampliación donde se necesita interoperabilidad con el material rodante y la infraestructura existentes.	• Equipos mucho más costosos que para el ancho estándar. • Los vehículos de mantenimiento pueden necesitar adaptaciones, lo que hace mucho más caro el mantenimiento.
Vías auxiliares	Vías apartadero	• Mejor opción para ajustar la capacidad operativa de acuerdo con la demanda del sistema ferroviario. • Flexibilidad para cambiar de servicio por incidentes y obras en las vías. • Uso de trenes de refuerzo rápido y almacenamiento temporal de trenes fuera de servicio. • Reducción de la longitud y la duración de movimientos de trenes fuera de servicio.	• Aumento del costo de construcción y operación.
	Vías de paso	• Posibilidad de que los trenes se crucen, lo que permite tener un servicio local y exprés sin vías dobles en toda la línea. • Flexibilidad de servicio para mantenimiento y respuesta ante interrupciones.	• Aumento del costo del sistema y del riesgo de accidentes.
Superestructura	Sobre balasto	*Con durmientes de madera* • Menor costo inicial. *Con durmientes de hormigón* • Mayor costo inicial que los durmientes de madera.	*Con durmientes de madera* • Mayor costo de mantenimiento. *Con durmientes de hormigón* • Menor costo de mantenimiento.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.3. Características y opciones del diseño de las vías *(Continuación)*

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Superestructura	Losa fija	• Mayor costo inicial que con durmientes de madera u hormigón; en túneles, requiere una perforación más pequeña, lo que reduce el costo de construcción. • Mayor reducción de las vibraciones.	• Menor costo de mantenimiento y del ciclo de vida que las vías de balasto con durmientes. • Vía de seguridad para situaciones de emergencia.
	Losa flotante	• Mucha menos vibración que con bloque fijo.	• Mayor costo inicial que el bloque fijo o de balasto.

Nota: UIC = *Union Internationale des Chemins de Fer.*

posible de cambios de agujas estándares ayuda a reducir los costos de mantenimiento y compra.

En cuanto a la superestructura de vía, se requiere una solución mixta, con diferentes tipos en lugares específicos a lo largo de la línea para cubrir las diferencias en velocidad de operación, reducción del ruido y la vibración, drenaje e intrusión de agua, y consideraciones de operación y evacuación en caso de emergencia. Por su menor costo inicial, las vías sobre balasto se suelen usar en los patios de talleres, donde las velocidades de los trenes son bajas, pero se suelen evitar en la línea principal debido a los requisitos de mantenimiento. Las vías en placa ofrecen el menor costo de ciclo de vida y se suelen preferir por su estabilidad y durabilidad, y porque ofrecen una ruta segura en caso de evacuaciones de emergencia. Para ubicaciones cercanas a zonas sensibles al ruido y a la vibración, los diseñadores del sistema pueden considerar usar bloques flotantes en lugar de fijos u otros métodos para amortiguar la vibración (como cubiertas viscoelásticas para lechos).[2] La principal manera de reducir el ruido y la vibración es evitar colocar secciones a nivel o elevadas cerca de zonas sensibles e implementar las normas correspondientes de uso del suelo.

Además de estas características, es importante considerar las estrategias operativas a la hora de definir el trazado de las vías. Este esfuerzo implica el cálculo cuidadoso de la capacidad y la flexibilidad operativas en puntos críticos del trazado (como terminales y cruces), y un análisis de valor y costo de la cantidad de cambios de agujas, el cierre de vías de paso por mantenimiento o servicio exprés, y la capacidad de vuelta de tren en la estación final. En el capítulo 13 se brindan más detalles sobre la relación entre el trazado de las vías y la planificación de servicios de operación.

Estaciones y terminales

Además de las características del trazado y las vías, en el diseño de las obra civil y la infraestructura para los sistemas de ferroviarios urbanos se deben considerar muchas características de la estación. Las estaciones y terminales alojan equipos de operación, de mantenimiento y del sistema, además de comodidades para los pasajeros. Entre las características orientadas al pasajero se incluyen el diseño, la longitud y el ancho del andén, la presencia y el tipo de puertas de andén (PA), y el acceso vertical (véase el cuadro 5.4). Los tipos de estación elegidos deben ser acordes a la capacidad de diseño a largo plazo del sistema, las limitaciones de los trazados en planta y alzado, y el tipo de

CUADRO 5.4. Características y opciones del diseño de estaciones y terminales

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Diseño del andén de la estación	Andén central (o isla)	• Permite que ambas direcciones compartan la misma infraestructura de movimiento vertical (escaleras, escaleras mecánicas y ascensores). • Puede simplificar las conexiones entre líneas. • En el caso de flujos cíclicamente irregulares, se puede aprovechar mejor el espacio común del andén. • Es más conveniente para los pasajeros durante períodos de operación en una sola vía.	• En estaciones de superficie o de falso túnel, se requiere una plataforma segregada mayor para las vías de entrada. • Para estaciones en túneles, es posible que se requiera una construcción más costosa.
	Andenes laterales	• Permiten separar los movimientos direccionales de los pasajeros sobre el andén.	• Se genera espacio adicional para facilitar el movimiento de pasajeros (sobre todo cuando se hacen conexiones entre vías).
	Andenes divididos	• Son ventajosos cuando el espacio horizontal es limitado. • Es la mejor solución para estaciones subterráneas.	• Se necesita un segundo bloque de soporte para una de las líneas ferroviarias, lo que aumenta considerablemente los costos.
	Andenes de flujo libre[a]	• Tienen la mayor capacidad y son las más adecuadas en las estaciones de intercambio con andenes compartidos.	• Suponen un mayor costo de construcción.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.4. Características y opciones del diseño de estaciones y terminales *(Continuación)*

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Acceso vertical	Escalera mecánica	• Movimiento de persona más eficiente	• Se requiere más tiempo para que los pasajeros se trasladen entre la superficie y la estación • Se necesita hacer funcionar las escaleras mecánicas a velocidades más bajas que la máxima por motivos de seguridad
	Ascensor	• Proporciona el acceso más rápido, especialmente en estaciones profundas • Proporciona acceso universal para pasajeros en silla de ruedas	• Tiene menor capacidad
Forma del andén	Andenes más cortos	• Son menos costosos para construir que los andenes largos	• Si el tamaño de los andenes está hecho para trenes más cortos, la ampliación futura en busca de una mayor capacidad puede ser innecesariamente costosa (sobre todo en estaciones subterráneas o elevadas)[b]
	Andenes más largos	• El costo a largo plazo es menor porque se elimina el costoso alargamiento futuro de los andenes.	• Suponen un mayor costo inicial
	Andenes más anchos	• Brindan mayor capacidad para los movimientos de pasajeros.	• Suponen un mayor costo inicial y se requiere más espacio para construir la estación.
Puertas de andén	Altura media	• Evitan que los pasajeros se caigan (o salten) a las vías. • Mejoran la seguridad al controlar el acceso a las vías. • Evitan lesiones provocadas por trenes que pasan a alta velocidad sin parar en la estación. • Reducen la incomodidad de las corrientes de aire subterráneas.	• Brindan menos protección contra intrusiones a las vías. • No tienen función de control de climatización.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.4. Características y opciones del diseño de estaciones y terminales *(Continuación)*

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Puertas de andén	Altura media	• Son menos costosas que las de altura completa. • Son mejores que las de altura completa para estaciones exteriores sin control de climatización.	
	Altura completa	• Evitan accidentes y mejoran la seguridad al controlar el acceso a las vías. • Brindan protección climática en las estaciones externas y mayor comodidad para los pasajeros en las estaciones subterráneas (menos corrientes de aire). • Se puede ahorrar mucho dinero en la vida operativa del sistema si las estaciones tienen aire acondicionado. • Mejoran la acústica del sistema de megafonía.	• La inversión inicial es más costosa que para las puertas de altura media. • Pueden no ser compatibles con la infraestructura existente de los andenes.
Otras actividades en las estaciones	Explotación conjunta	• Ofrece la posibilidad de recaudación adicional. • Puede atraer el tránsito de pasajeros cerca de la estación, lo que aumenta la cantidad de usuarios. • Ofrece la posibilidad de involucrar al sector privado para que asuma una porción de los costos de operación (y posiblemente de construcción) de la estación.	• Le suma complejidad al proyecto y riesgo al esquema de costos. • Requiere mayor respaldo político y público, y mayor nivel de esfuerzo para preparar los acuerdos legales y de financiamiento. • Entraña posibles riesgos de corrupción o de percepción de corrupción.
	Espacio comercial interno	• Puede ofrecer servicios útiles para los pasajeros que usan la estación y brindar una mayor sensación de seguridad (por la actividad más constante).	• Los planes mal diseñados pueden interferir en el flujo de pasajeros. • Genera el desafío de crear un entorno atractivo en espacios reducidos y cerrados.

a. Un andén central (isla) y dos laterales.
b. En sistemas subterráneos, se pueden construir túneles de manera recta y con un ancho de varios metros en cualquier extremo del andén para permitir la ampliación futura de la longitud con un aumento mínimo del costo inicial.

método de construcción utilizado (capítulo 11). Dado que el diseño y el tamaño de las estaciones y andenes son costosos de modificar, es importante diseñarlos de modo tal que cumplan con las proyecciones de crecimiento máximo de la demanda de la población y otros cambios demográficos regionales a lo largo de la vida útil del sistema.

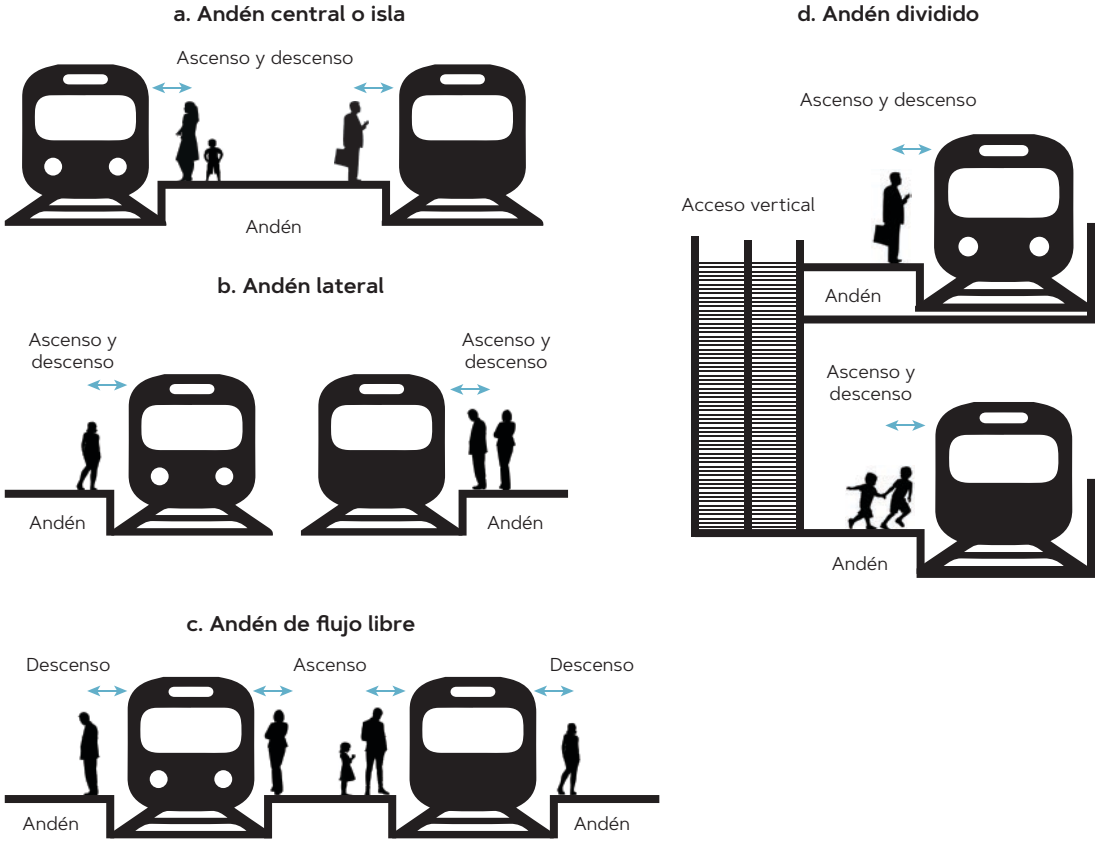
El diseño de los retrocesos de vía en las estaciones terminales es particularmente importante para la flexibilidad operacional y la frecuencia máxima de servicio de la línea ferroviaria (véase el capítulo 13). Con un cruce frontal, los trenes se pueden reubicar rápidamente para retomar el servicio al ingresar en el andén asignado de la terminal antes de finalizar el viaje anterior. Por el contrario, con un cruce trasero los trenes deben ir hasta el cruce ubicado detrás de la estación antes de regresar al andén para el próximo viaje, lo que aumenta el tiempo de la escala.

Con respecto al diseño de los andenes de las estaciones, los más usados son los andenes laterales y centrales (islas) (véase el gráfico 5.3). Los andenes centrales suelen ser mejores para las estaciones que se proyectan con flujos irregulares de pasajeros y para estaciones de conexión, ya que permiten que los pasajeros bajen del tren y lo aborden desde ambos lados, lo que reduce el tiempo en parada. La longitud y el ancho de los andenes y la capacidad de las estaciones se deben diseñar de modo tal que se adapten a los trenes más largos y anchos que pueden llegar a operarse en el futuro.

Existe una tendencia global hacia la implementación de PA para todos los proyectos nuevos debido a que ofrecen seguridad y otros beneficios, como complementariedad con los sistemas sin conductores, aclimatación de los andenes, control del vandalismo y espacio para exhibir publicidad e información. Sin embargo, las PA no son obligatorias. Hay soluciones más económicas (como vallas y sistemas de detección automática de caídas) disponibles para evitar que los pasajeros se caigan, pero no brindan muchos otros beneficios. Por lo tanto, antes de decidir si se implementarán PA o no, se deben considerar cuidadosamente el presupuesto del proyecto y la gama completa de beneficios de las diferentes soluciones. Las estaciones sobre la superficie sin control de la climatización suelen implementar puertas a media altura (véase el gráfico 5.1), mientras que las estaciones subterráneas con aire acondicionado suelen usar puertas de altura completa, que pueden amortizarse con el ahorro de energía a largo plazo (véase el gráfico 5.2). Para los sistemas ferroviarios urbanos más antiguos, es posible que los andenes no puedan soportar el peso de las PA sin una inversión importante para reforzar las estructuras, por lo que puede ser más costoso implementar las PA en líneas existentes.

La mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos tienen alguna clase de acceso vertical a las estaciones. El acceso vertical se debe diseñar como parte de un plan

GRÁFICO 5.3. **Esquema de los diferentes tipos de diseños de andenes de estaciones**



Fuente: Adaptado del Ministerio de Ferrocarriles (2009).

completo de circulación, evacuación de emergencia y accesibilidad universal que contemple movimientos horizontales y de pasajeros desde las entradas hacia las salidas. Se debe mantener la continuidad de la capacidad entre todos los elementos para evitar cuellos de botella y para garantizar la solución más eficaz en función de los costos que permita ofrecer el nivel de servicio deseado. En estaciones complejas, es importante usar paquetes de simulación para comprender los flujos de pasajeros en condiciones normales de operación y situaciones de emergencia.

En el diseño de cualquier estación de ferrocarril urbano se debe considerar la accesibilidad local en el frente de la estación, además de la terminal y los andenes. El diseño de las áreas y los servicios de las estaciones debe estar cuidadosamente orientado, en primer lugar, a los peatones, y procurar que se ofrezca, al mismo tiempo, fácil acceso a bicicletas, autobuses y otras modalidades de transporte.

IMAGEN 5.1. Puertas de andén (o de borde) de altura media: estación Kwai Hing, Sistema Ferroviario Metropolitano (MTR) de Hong Kong, Región Administrativa Especial de Hong Kong, China

Fuente: Hokachung, a través de Wikimedia Commons.

Para capitalizar estos flujos de pasajeros a través del espacio de la estación y aprovechar toda capacidad adicional en el corto plazo, es conveniente considerar la incorporación de otras actividades al diseño de la estación, como la explotación conjunta o el espacio comercial interno. La incorporación de otras actividades a la estación es más viable cuando forma parte de una estrategia coordinada para promover el desarrollo orientado al transporte público en todo el sistema o como una manera de solventar algunos de los costos de terminales multimodales complejas (véase el capítulo 16). Es posible que haya promotores inmobiliarios de activos comerciales que deseen aportar recursos financieros para la construcción de la estación a cambio de algunos derechos para desarrollar áreas adyacentes. Aunque la urbanización de uso mixto alrededor de las estaciones puede promover un mayor número de pasajeros y proporcionar más beneficios para las comunidades locales, es importante considerar cuidadosamente la disponibilidad de terrenos alrededor de la estación y la posible necesidad de futuras ampliaciones del sistema antes de celebrar acuerdos a largo plazo con desarrolladores comerciales. El desarrollo vertical de las estaciones puede tener un impacto importante en los elementos estructurales, como las bases (y costos asociados), y, por lo tanto, se debe decidir a comienzos del diseño para poder colocar los soportes adecuados.

IMAGEN 5.2. Puertas de andén de altura completa: estación Raffles Place, Singapur

Fuente: Calvin Teo, a través de Wikimedia Commons.

Patios de maniobras e instalaciones complementarias

Todos los sistemas ferroviarios urbanos deben tener patios de maniobras e instalaciones adyacentes en las que se pueda realizar tareas de mantenimiento para el material rodante. Para sistemas más grandes con varias líneas, se recomienda ubicar varios patios de maniobras dispersos para realizar tareas de mantenimiento de diferentes partes de la red. Tener varios patios de maniobras e instalaciones para mantenimiento implica un costo mayor, pero puede reducir la cantidad de trenes en desuso y mejorar la flexibilidad del servicio en respuesta a las interrupciones (véase el recuadro 5.1). La cantidad de terrenos necesarios para los patios y las instalaciones no es un tema menor y se debe planificar bien al inicio, sobre todo si existen consideraciones a nivel del sistema (como una única instalación que preste servicio a más de una línea ferroviaria urbana). Nuevamente, a la hora de decidir la ubicación y el diseño de estas instalaciones se debe tener en cuenta el futuro desarrollo de la red. La experiencia demuestra que la ubicación, el impacto ambiental y la resiliencia frente a los peligros climáticos de estas instalaciones se deben considerar al principio de la planificación del sistema y el diseño preliminar, teniendo en cuenta los planes de servicio de

RECUADRO 5.1.

La importancia de los patios de mantenimiento para el diseño del sistema ferroviario urbano

Los patios de mantenimiento y estacionamiento de los ferrocarriles urbanos requieren áreas extensas, lo cual se debe planificar al inicio del proyecto y puede tener un alto impacto urbano si no se trata adecuadamente. Estos patios incluyen espacio e instalaciones para el estacionamiento y el mantenimiento de coches; el almacenamiento de vehículos auxiliares; la carga, la descarga y el almacenamiento de materiales, y salas de control del sistema y edificios de oficinas. Todas estas funciones requieren de un espacio grande compatible con el uso industrial. Por ejemplo, en el metro de Madrid se usan los siguientes parámetros comparativos: 700 metros cuadrados de espacio edificable y 2100 metros cuadrados de superficie total por coche que sea de 2,4 metros de ancho y 90 metros de largo; o bien 800 metros cuadrados de espacio edificable y 2400 metros cuadrados de superficie total por coche que sea de 2,8 metros de ancho y 115 metros de largo.

Debido al ruido, las vibraciones, el tráfico y otros factores externos negativos relacionados con la actividad en estos patios, es conveniente ubicarlos lejos de áreas residenciales. Cuando no sea posible, el patio de maniobras se puede proteger con barreras o franjas de áreas verdes (por ejemplo, parques o jardines) alrededor del perímetro, o se puede construir bajo tierra. A veces, una ubicación ventajosa con terreno más económico puede conllevar costos de operación mucho mayores, lo que hace que sea fundamental evaluar los costos del ciclo de vida de la ubicación de los patios. Para evitar el impacto en los gastos de operación y la sostenibilidad financiera de todo el sistema, en esta evaluación se deben considerar los costos que no generan ingresos para el plan de servicio previsto. Si están ubicadas en una zona muy densa, las instalaciones subterráneas pueden dejar espacio sobre la superficie que se puede reutilizar como espacio comercial, espacio público o para otras necesidades de uso del suelo (véase la imagen B5.1.1).

En lo que respecta a la ubicación y el diseño de los patios de mantenimiento y estacionamiento del transporte ferroviario, se debe tener en cuenta la larga vida útil de los activos del sistema, además del crecimiento futuro de la ciudad y su desarrollo urbano. A medida que las ciudades crecen, los patios semindustriales pueden verse rodeados de desarrollos residenciales, lo que posteriormente puede generar dificultades y costosos conflictos (véase laimag en B5.1.2). Por lo tanto, el organismo de ejecución del proyecto debe ser lo suficientemente cuidadoso en cuanto a la ubicación y al diseño de estas instalaciones desde el comienzo. Además de tener en cuenta el crecimiento de la ciudad, en el diseño y la ubicación de los patios de maniobras también se deben tener en cuenta el crecimiento futuro de la red ferroviaria urbana y la flota requerida para la ampliación de las operaciones. En la mayoría de los casos, reservar espacio para la ampliación futura de las instalaciones de mantenimiento y almacenamiento durante la construcción de la primera línea ferroviaria es menos costoso y puede dar lugar a menos perturbaciones que tener que ubicar y diseñar instalaciones nuevas o ampliarlas a medida que la red se expande.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 5.1.

La importancia de los patios de mantenimiento en el diseño del sistema *(Continuación)*

IMAGEN B5.1.1. Área de almacenamiento actual a nivel de superficie (*izquierda*) y modelo de restitución futura de la superficie luego del enterramiento (*derecha*) para Cuatro Caminos

Fuente:: © Metro de Madrid. Reproducido con autorización de Metro de Madrid; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

IMAGEN B5.1.2. Espacio reservado para la posible ampliación futura del área de almacenamiento de Villaverde

Fuente: © Metro de Madrid. Reproducido con autorización de Metro de Madrid; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

operaciones y mantenimiento. De lo contrario, la construcción y el equipamiento de estas instalaciones pueden afectar el calendario de ejecución del proyecto. La planificación inadecuada de las instalaciones complementarias también puede generar operaciones deficientes con kilómetros innecesarios que no generan

ingresos para los trenes y un impacto negativo en los gastos de operación y la sostenibilidad financiera del sistema.

Material rodante

Al diseñar el material rodante para un sistema ferroviario urbano, se deben analizar muchas características importantes (véase el cuadro 5.5). Para algunas de estas características, existen fuertes recomendaciones o tendencias globales hacia lo "estándar". Por ejemplo, la mayoría de los nuevos sistemas ferroviarios urbanos utilizan trenes estilo pasarela. Las ruedas de acero se consideran más eficientes que los neumáticos, excepto en los casos en los que el sistema se deba diseñar con pendientes verticales de más del 3 %. Además, aunque los frenos regenerativos aún no se consideran estándar, la tendencia global se inclina hacia su uso por la reducción de los costos de energía durante las operaciones.

CUADRO 5.5. Características y opciones del diseño del material rodante

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ancho del vagón	Vagones más anchos (3,2 metros)	• Permiten aumentar en un 40 % el espacio para pasajeros que viajan de pie.	• Según la configuración del tren, pueden tener un costo unitario mayor (20 % más), pero los trenes pueden llevar la misma carga con menos vagones. • Requieren perforaciones más grandes y más costosas para los túneles. • Hay más competencia de precios que para vagones más estrechos. • Pueden aumentar el tiempo de embarque según el diseño de las puertas.
Cantidad de vagones por tren	Mayor cantidad de vagones por tren	• Aumenta la capacidad total de la línea.	• Se necesitan andenes más grandes en todas las estaciones y una mayor capacidad de potencia de salida a nivel del sistema, lo que conlleva un costo adicional importante.
Puertas	Puertas más anchas	• Reducen el tiempo en parada al permitir un patrón más eficiente de acceso y egreso.	• La capacidad de asientos es menor.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.5. Características y opciones del diseño del material rodante *(Continuación)*

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tipo de conexión entre vagones	Pasarela o pasillo de intercirculación continuo	• Aumenta la capacidad del tren al permitir la distribución nivelada de pasajeros entre los vagones. • Reduce el tiempo en parada, ya que permite evitar la saturación y distribuir a los pasajeros entrantes y salientes de manera más uniforme entre las puertas disponibles. • Mejora la capacidad de los pasajeros de desplazarse a lo largo del tren para salir por la "mejor puerta". • Aumenta la seguridad contra delitos y condiciones peligrosas como resultado del diseño abierto.	• Supone un mayor costo de mantenimiento de los acoplamientos articulados. • Es más difícil desacoplar vagones individuales para realizar tareas de mantenimiento.
Control de climatización	Aire acondicionado y calefacción	• Brinda mayor comodidad para los pasajeros. • Se considera la opción estándar.	• Conlleva mayores costos iniciales y de operación.
Sistemas de propulsión y frenos regenerativos	Frenos regenerativos	• Consumen menos energía que los frenos normales. • Se producen menos emisiones de dióxido de carbono.	• Conllevan mayores costos de instalación que los frenos normales. • Requiere motores de inducción con corriente alterna trifásica.
	Sistemas de almacenamiento de energía	• Permiten almacenar (a bordo del tren o en subestaciones eléctricas) la energía obtenida por los frenos regenerativos para no tener que usarla de inmediato.	• La tecnología es relativamente nueva. • El costo inicial es alto, pero es posible que los costos disminuyan, ya que se están desarrollando baterías más económicas.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.5. Características y opciones del diseño del material rodante *(Continuación)*

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Diseño del testero	Testero aerodinámico	• La forma aerodinámica permite ahorrar energía. • Es más atractivo estéticamente y tiene un aspecto más moderno	• El costo de adquisición es más elevado. • Reduce el espacio disponible para el traslado de pasajeros, lo que puede afectar negativamente la capacidad (toda la longitud del tren debe detenerse cerca del andén).
Material de la estructura del vagón	Acero inoxidable	• Es más resistente a las colisiones. • Es menos costoso.	• La masa no suspendida de vagones es mayor, lo que genera mayor consumo de energía y mayores costos de mantenimiento de vías.
	Aluminio	• Genera un menor consumo de energía por el menor peso.	• No es tan resistente. • Es más costoso
Velocidad y aceleración máximas[a]	80 km/h-100 km/h	• Es la especificación más común para vagones disponibles en el mercado; adecuada para líneas en las que el espacio entre las estaciones es de 600 metros a 800 metros (para sistemas de metro). • Requiere un motor más pequeño que para mayor velocidad; por lo tanto, los costos iniciales y de operación son menores.	• Es menos eficiente si el espacio entre las estaciones es mayor que 800 metros, lo que genera mayor tiempo de viaje (para trenes metropolitanos).
	100 km/h-110 km/h	• Menor tiempo de viaje para las líneas en las que el espacio entre las estaciones es mayor a 800 metros (trenes metropolitanos).	• Se requieren motores eléctricos más potentes y supone un mayor costo de fabricación.
Ruedas	Neumáticos de caucho	• La menor vibración genera una circulación más tranquila. • La mejor tracción permite una mayor aceleración y la capacidad de subir pendientes más pronunciadas. • Se genera menos ruido al aire libre.	• Suponen un mayor consumo de energía. • El ciclo de reemplazo de neumáticos es más frecuente, lo que genera un mayor costo de mantenimiento y una menor disponibilidad de vagones. • Polvo y contaminación del aire por el deterioro y la falla de los neumáticos

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.5. Características y opciones del diseño del material rodante *(Continuación)*

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ruedas			• El ruido en el interior de los túneles es mayor que en el caso de las ruedas de acero. • Existe riesgo de explosión de neumáticos.
	Ruedas de acero	• Los costos iniciales y de mantenimiento son menores. • Son más eficientes (desde el punto de vista energético).	• La pendiente de la vía se ve limitada al 3 %.
Sistemas avanzados de seguimiento y mantenimiento	TCMS	• Implican mejores niveles de mantenimiento (a nivel predictivo). • Posibilitan el seguimiento en tiempo real del estado de los vagones. • Incrementan la fiabilidad y la disponibilidad de los trenes.	• Los costos de instalación y operación son altos.

Nota: TCMS = sistemas de control y seguimiento de trenes.
a. *La aceleración máxima no debe superar los 1,3 metros por segundo al cuadrado.*

Para otras características, la opción más adecuada se determinará luego de analizar cuidadosamente las interrelaciones del material rodante con la infraestructura, la capacidad del sistema, los requisitos de desempeño y los costos del ciclo de vida. Es fundamental especificar el material rodante que se usará en un plan de servicio de operaciones. Por ejemplo, la elección del ancho de puertas afecta el tiempo en la estación cuando se produce una saturación de las operaciones (hora punta). Para la estructura de la carrocería de un vagón, el acero inoxidable, el aluminio y los materiales compuestos son opciones viables y la elección se debe basar en estudios de costo del ciclo de vida. De manera similar, aunque los sistemas de control y seguimiento de trenes (TCMS) no constituyan un equipo estándar para todos los fabricantes de trenes y, por lo tanto, puedan suponer una alta inversión inicial, se los debe considerar seriamente por su influencia en los costos de operación y mantenimiento.

Para decidir sobre el ancho del vagón se debe considerar cuidadosamente el plan de servicio de operaciones y la capacidad máxima de pasajeros que se requerirá en el futuro, no solo en el año de apertura. Además, la densidad de pasajeros por metro cuadrado también se debe considerar desde la perspectiva de la comodidad del pasajero. Muchas decisiones sobre el material rodante (como el estilo pasarela de los vagones, la cantidad de puertas y la longitud de

los trenes) se pueden optimizar a lo largo de la vida útil del sistema mediante la renovación de los vehículos. Sin embargo, el ancho de los vagones está limitado por la infraestructura física, como el ancho de las secciones subterráneas en túnel, y el espacio entre las vías y los andenes de las estaciones.

Los vagones de entre 2,7 m y 3,2 m de ancho suelen estar disponibles en el mercado, lo que ha reducido el costo de diseño de los sistemas con vagones más anchos. En ciudades grandes (como la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China; Río de Janeiro y Singapur), se usan vagones de entre 3,1 m y 3,2 m de ancho; en ciudades de tamaño medio o sistemas más antiguos, se usan vagones de entre 2,6 m y 2,9 m de ancho. Aunque la capacidad de asientos de la mayoría de los coches depende de la distribución, a medida que aumenta el ancho de los vehículos, los coches tienen más espacio y, por ende, más capacidad. Según los operadores ferroviarios urbanos, mientras más ancho sea el vehículo, mejor; pero esta consideración operativa se debe equilibrar con la comodidad de los pasajeros. Al considerar las eficiencias operacionales y la capacidad mejorada para la vida útil del sistema ferroviario urbano, construir el sistema de manera tal que puedan circular trenes más anchos puede valer la inversión inicial. Sin embargo, la instalación de sistemas de señalización más avanzados que reduzcan el intervalo entre trenes puede aumentar la capacidad de manera menos costosa que el uso de vagones más anchos (que requieren túneles más anchos).

El tamaño y la cantidad de puertas por coche son otros elementos importantes del diseño del material rodante. Estas elecciones afectan el tiempo que necesitan los pasajeros para abordar el tren y descender de él, lo cual representa el mayor factor determinante del tiempo de permanencia en la estación y, por lo tanto, el intervalo entre trenes de servicio. Entre las consideraciones menos críticas, se incluyen la longitud y la cantidad de vagones. La longitud de los vagones no es tan determinante como la longitud de todo el tren, para la cual se deben considerar la longitud y la capacidad de los andenes de las estaciones. De manera similar, la cantidad de vagones se puede incrementar posteriormente, siempre y cuando el diseño de la longitud de los andenes, el suministro de energía del sistema y los acoplamientos de trenes permita adaptarse a ese posible incremento.

En el diseño y la adquisición de material rodante, es importante sopesar la eficiencia operativa y el costo con la comodidad de los usuarios. Entre las consideraciones de diseño que pueden ser más importantes para los usuarios del sistema se incluyen la distribución de los asientos, el aire acondicionado, el espacio para personas con discapacidad y las instalaciones a bordo (tal como Wi-Fi, cargadores de batería, información para viajeros y publicidad).

Sistemas

Todos los sistemas que complementan un proyecto ferroviario urbano están interrelacionados y se deben diseñar con el fin de funcionar en conjunto y reforzarse entre sí. Se necesita un sistema de control centralizado para facilitar la comunicación y el intercambio de datos entre los diversos subsistemas, entre los que se incluyen el sistema de control y señalización del tráfico, el sistema de control de la energía o la electrificación, el sistema de comunicaciones, el sistema de contaje de pasajeros y el sistema de equipos auxiliares (incluidos el seguimiento y el control de los equipos de las estaciones, como los de ventilación, bombas, aire acondicionado y detección de incendios).

Señalización y control

Los sistemas de señalización y control desempeñan un papel fundamental a la hora de determinar la capacidad del diseño del sistema (véase el cuadro 5.6), pero existe una diferencia entre las capacidades de una línea ferroviaria urbana y la manera en que se opera. Con el incremento de la población en las distintas ciudades de todo el mundo, los operadores ferroviarios urbanos (especialmente los operadores de sistemas de metro) están aumentando el servicio al límite de sus capacidades existentes de señalización y control para satisfacer el pico de demanda. Para las concurridas líneas en zonas metropolitanas grandes y densas, los sistemas de metro se deben diseñar para funcionar al menos con 30 trenes por hora.[3] Para brindar un servicio de frecuencia alta de esas características, todo nuevo sistema de metro (proyecto completamente nuevo) debe implementar sistemas de señalización como el CBTC. Los sistemas de CBTC pueden reducir el espacio requerido entre trenes y permitir que circulen más trenes por hora de manera segura en una sola vía. Es posible que no sea necesaria una señalización avanzada de estas características para líneas de trenes metropolitanos o suburbanos que circulan con menos frecuencia.

En el caso de líneas ferroviarias urbanas nuevas, incluso las que solo tendrán inicialmente 20 a 24 trenes por hora, es importante incorporar flexibilidad para hacer lugar a mejoras operativas e incrementos de mitad de período en la frecuencia del servicio antes de que se deba reemplazar el sistema de señalización (aproximadamente en 30 años). La inversión inicial en la señalización de mayor calidad puede permitir ahorrar costos en operación y mantenimiento y seguridad durante toda la vida útil del proyecto. Para los sistemas existentes, la conversión al CBTC puede aumentar la capacidad del sistema, pero es algo muy complejo de implementar, ya que afecta muchos otros aspectos de la operación. Por lo tanto, aunque el CBTC es un estándar emergente para nuevos desarrollos de ferrocarriles urbanos, su implementación en sistemas existentes (proyectos de acondicionamiento o ampliación de infraestructura previa) requiere de una

CUADRO 5.6. Características y opciones del diseño del sistema de señalización y control

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Señalización	Bloque fijo	• En muchos sistemas existentes se utiliza tecnología anterior.	• Crea una separación artificial entre trenes, lo que limita la capacidad de la vía y la frecuencia del servicio. • Se pueden mitigar en cierta medida las limitaciones de capacidad al acortarse la longitud de los bloques.
	Cantón móvil, señalización basada en comunicaciones; CBTC	• Posibilita un uso más eficiente de la capacidad de la vía, lo que ofrece una mayor frecuencia del servicio y, al mismo tiempo, garantiza la seguridad.	• Es más complejo de operar (requiere un sistema de control con tolerancia más reducida). • La conversión de las líneas existentes supondría un costo alto e interrupciones considerables. • Requiere un mantenimiento más sofisticado y confiable.
Grado de automatización	Nivel 1	• Brinda protección contra colisiones (ATP o ATC)	• Aumenta el costo inicial para la adquisición de material rodante superior, la tecnología de telecomunicaciones y la protección en el borde del andén (se recomiendan PA para el GdA2 o superior). • Requiere mayor atención al mantenimiento que los métodos tradicionales. • Las líneas existentes son difíciles de convertir.
	Niveles 2 y 3	• Ofrece un nivel de fiabilidad superior al de ATP, lo que es particularmente importante para operaciones de alta frecuencia.	*Igual que el anterior, más:* • Para el GdA3 (y GdA4) se requiere un centro de control de operaciones responsable de la supervisión automática del tren.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 5.6. Características y opciones del diseño del sistema de señalización y control
(Continuación)

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Grado de automatización	Nivel 4	*Con operaciones sin supervisión:* • Mejores registros de seguridad. • Puede operar con menores intervalos entre trenes y ofrece mayor capacidad. • Permite una mayor eficiencia operativa debido a la capacidad de programar vagones y personal por separado.	*Con operaciones sin supervisión:* • Puede ser una fuente de conflictos laborales y puede requerir la restructuración de las instituciones o el personal.

Nota: ATC = control automático de trenes; ATO = funcionamiento automático de trenes; ATP = protección automática de trenes; CBTC = control de trenes basado en comunicaciones; GdA = grado de automatización; PA = puertas de andén.

consideración cuidadosa de la interoperabilidad, las alteraciones y los costos iniciales, y los beneficios a largo plazo.

Para sistemas ferroviarios urbanos nuevos o actualizados que implementen el CBTC, el diseño debe considerar el grado de automatización (GdA) en el sistema (véase el recuadro 5.2 para obtener una definición de los niveles de GDA). Todos los sistemas de señalización de CBTC tienen software listo para brindar soporte para el GdA, pero se necesitarán inversiones iniciales adicionales para actualizar el material rodante y la tecnología de telecomunicaciones. Para proyectos totalmente nuevos, se debe considerar el nivel 4 de GdA con operaciones sin supervisión completamente automatizadas. Las operaciones sin supervisión automatizadas pueden permitir ahorrar dinero a lo largo de la vida operativa del sistema, brindar mayor flexibilidad en caso de que existan alteraciones en los cronogramas y los servicios, y permitir que el personal cumpla funciones críticas además de conducir (como seguridad o atención al cliente) (véase el capítulo 13).

Electrificación y energía

Los sistemas de electrificación y energía también constituyen consideraciones importantes para el diseño (véase el cuadro 5.7). Es fundamental llevar a cabo un estudio en profundidad de las necesidades eléctricas del sistema (por ejemplo, mayores aceleraciones, mayores velocidades, y aire acondicionado o calefacción que pueden requerir más energía) y las características de la generación, la transmisión y la distribución de energía existente para garantizar que el suministro de energía eléctrica del sistema ferroviario urbano sea confiable (sin interrupciones).

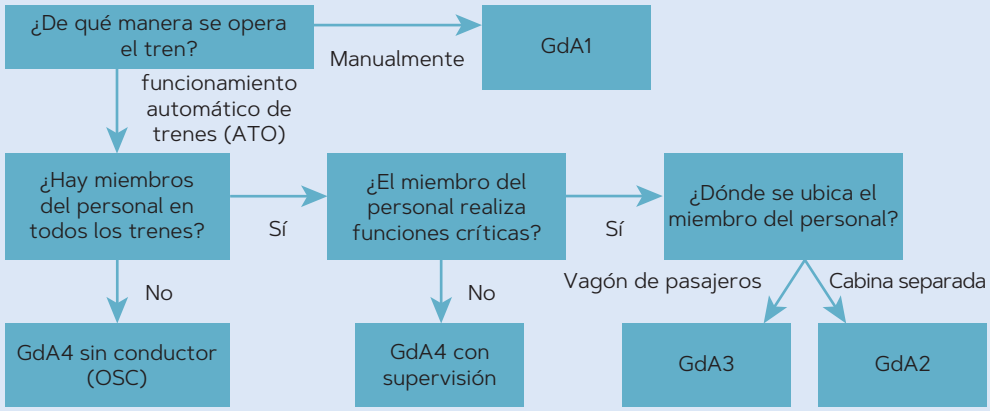
RECUADRO 5.2.

Niveles de operaciones automatizadas sin supervisión

La norma IEC-62290-1 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, 2006) definió terminología clara para clasificar el grado de automatización (GdA1-GdA4) de un sistema ferroviario urbano (en el gráfico B5.2.1 se ofrece un diagrama):

- El GdA1 cuenta con protección automática de trenes (ATP), con un conductor en cabina que controla manualmente el movimiento del tren. El ATP evita los movimientos no seguros pero no ejerce otro tipo de control sobre el tren.
- El GdA2 cuenta con funcionamiento automático de trenes (ATO), con un conductor en cabina que no controla manualmente el movimiento del tren pero sí realiza funciones críticas, como cerrar puertas y poner en movimiento al tren.
- El GdA3 cuenta con ATO y un operador de tren en el vagón de pasajeros que realiza una función crítica, como la supervisión del cierre seguro de las puertas.
- El GdA4 tiene capacidad de operación sin conductor (OSC) de trenes, lo que significa que los trenes pueden funcionar sin personal fijo en los trenes o las estaciones. En este nivel, el operador tiene la posibilidad de optar por colocar a alguien en el tren para manejar el servicio al cliente o la respuesta de emergencia.

GRÁFICO B5.2.1. Diagrama de niveles del grado de automatización



Fuentes: Adaptado de Cohen y otros (2015); UITP (s. f.)
Nota: ATO = funcionamiento automático de trenes; GdA = grado de automatización; OSC = operación sin conductor.

La infraestructura necesaria para la generación y la transmisión de energía eléctrica necesita bastante espacio, especialmente a lo largo de la plataforma segregada y en las zonas de estaciones y patios de talleres. Se debe analizar

CUADRO 5.7. Características y opciones del diseño de electrificación

CARACTERÍSTICA	OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Electrificación	Cables aéreos	• Permiten un mayor voltaje, lo que disminuye las pérdidas de transmisión. • Permiten operaciones más densas y, por ende, mayores flujos de pasajeros debido al mayor voltaje. • Permiten realizar operaciones de mantenimiento de las vías sin desconectar la energía. • Son más seguros en caso de que se produzcan fallas en el tren que obliguen a los pasajeros a descender al nivel de la vía.	• Implican mayores costos iniciales y costos de mantenimiento continuo. • Generan mayor impacto visual de las líneas aéreas. • Según el diseño, pueden requerir una perforación mayor para los túneles subterráneos debido a la mayor distancia entre la catenaria y el borde entre las vías y el andén.
	Tercer riel	• Tiene una mayor vida útil, y el costo de mantenimiento es mucho menor • Entraña un menor costo inicial. • Permite un diámetro más pequeño de túneles, pero puede requerir pasarelas adicionales en ellos.	• Supone un riesgo en el caso de que los pasajeros se caigan en las vías y durante evacuaciones de emergencia. • Implica pérdida de tiempo durante el mantenimiento de las vías o de la superestructura debido a que se debe desconectar y conectar la energía.
Alimentación	Motor de CA (inducción trifásica)	• Compatibilidad inherente con frenos regenerativos. • La relación costo-energía es menor. • Requiere menos mantenimiento y es más fiable.	
	Motor de CC	• Es compatible con sistemas anteriores.	

Nota: CA = corriente alterna; CC = corriente continua.

detenidamente la opción de configurar una o más plantas exclusivas de generación de energía o subestaciones para el sistema, junto con la posibilidad de instalar nuevas tecnologías regenerativas en estas instalaciones. Esto se debe analizar con el servicio público municipal para decidir si la infraestructura existente de generación y transmisión de energía eléctrica tiene capacidad para suministrar a la futura línea ferroviaria o si es necesario generar energía adicional o agregar subestaciones. Las subestaciones eléctricas y la infraestructura de transmisión necesaria para conectarlas con la línea ferroviaria urbana

requieren de mucho espacio y se debe prever un espacio lugar a lo largo de la plataforma segregada y las estaciones.

Se necesitarán negociaciones adicionales con proveedores de energía en lo que respecta a la tarifa a la cual se cobrará la electricidad en horas pico, ya que la energía eléctrica puede ser un elemento muy oneroso de los costos de operación en algunos países de ingreso medio y bajo. Incluso si la operación de la línea ferroviaria urbana está en manos de un concesionario privado, el Gobierno deberá participar proactivamente para garantizar una tarifa de descuento adecuada para la electricidad en hora pico antes de la finalización del proyecto. Garantizar la tarifa de descuento adecuada es fundamental, ya que la hora pico del consumo de electricidad puede coincidir con la hora punta del servicio ferroviario urbano.

Al considerar la opción de electrificación del sistema ferroviario urbano (catenaria en comparación con tercer riel), ninguna opción es claramente superior (véase el cuadro 5.7). Para cualquiera de estas opciones, la solución de energía más usada es la corriente continua (CC) (a 750 voltios para tercer riel y 1500 voltios para catenaria) a través de inversores que la convierten en corriente alterna (CA) trifásica para los motores de inducción.

Telecomunicaciones

Las telecomunicaciones son una característica importante del diseño de los sistemas ferroviarios urbanos. Muchas opciones de telecomunicaciones son obligatorias porque son fundamentales para la operación o para la seguridad y protección. Entre estas opciones se incluyen sistemas de comunicación y cableado entre las instalaciones y los equipos, sistemas de megafonía, y cámaras de seguridad. Otras opciones de telecomunicaciones (como la presencia de sistemas de Wi-Fi, de servicio de telefonía celular o de entretenimiento a bordo para pasajeros no son esenciales para la operación y la seguridad del sistema, pero pueden mejorar la experiencia de los pasajeros (véase el cuadro 5.8). Estas opciones se suelen implementar como parte de un contrato de arrendamiento o concesión con compañías privadas y, por lo tanto, tienen potencial como fuentes adicionales de ingresos. Además, los servicios orientados a los pasajeros pueden mejorar la satisfacción de los clientes y aumentar el número de pasajeros durante toda la vida útil del sistema. Por lo tanto, los sistemas de Wi-Fi, de servicio de telefonía celular y de entretenimiento a bordo merecen ser evaluados para todos los proyectos ferroviarios urbanos nuevos.

Control de emisión de boletos y validación

El sistema de emisión de boletos electrónicos con tarjeta inteligente es la práctica recomendada para todo sistema ferroviario urbano nuevo o existente en

CUADRO 5.8. Opciones para el diseño de las telecomunicaciones

OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Wi-Fi	• Es conveniente para los pasajeros.	• Es más costoso dimensionar una red de Wi-Fi para que la usen los pasajeros (además del soporte operativo necesario).
Red de telefonía celular	• Es conveniente para los pasajeros • Se pueden recuperar los costos al cobrar tarifas o arrendar equipos a los proveedores de telefonía.	• Supone costos de infraestructura considerables (antenas, interruptores, puntos de acceso, repetidores).
Sistemas de entretenimiento a bordo	• Se pueden recuperar los costos iniciales con ingresos por publicidad. • Mejora la experiencia de los pasajeros al generar la percepción de un tiempo de viaje más corto.	• Requiere mantenimiento adicional.

el que se pretenda actualizar el control de emisión de boletos y validación. Además, en los sistemas totalmente nuevos que no están limitados por la compatibilidad con los sistemas anteriores, se debe considerar seriamente el pago a través de teléfonos inteligentes o aplicaciones móviles. Para un sistema ferroviario urbano nuevo, es imprescindible contar con un sistema de emisión de boletos electrónicos y de validación de boletos a la entrada y a la salida. El sistema de emisión de boletos electrónicos recolecta datos de las transacciones en tiempo real, y permite procesar rápidamente datos de origen (y destino) para generar informes sobre el número de pasajeros e ingresos. Además, esos datos son valiosos para evaluar las opciones de servicio e ingresos. En el caso de los sistemas nuevos, la validación de boletos a la entrada y a la salida brinda datos valiosos para la programación de la operación y la planificación del servicio, y ofrece mayor flexibilidad de la política tarifaria al establecer las bases para las tarifas basadas en la distancia.

Para los sistemas tradicionales de validación de boletos, se deben instalar barreras en cada entrada y salida de cada estación junto a las máquinas de emisión de boletos y recargas. En los sistemas ferroviarios urbanos de países de ingreso medio y bajo, muchos pasajeros no pueden cargar sus tarjetas con demasiado dinero anticipadamente, con lo que se requieren recargas frecuentes del importe del boleto. Salvo que el sistema de emisión de boletos permita una recarga móvil, la recarga frecuente puede generar largas colas en las máquinas expendedoras.

La mayoría de los nuevos sistemas ferroviarios urbanos utilizan sistemas de validación de boletos en las barreras con tarjetas sin contacto para mejorar la capacidad de las estaciones. Sin embargo, la capacidad no debe ser el factor

CUADRO 5.9. Opciones para la característica del diseño del control de emisión de boletos y validación

OPCIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Diseño sin barrera	• Aumenta la capacidad del flujo de pasajeros.	• Existen más probabilidades de fraude • Requiere un sistema de implementación y una campaña promocional o educativa.
Validación de boletos a la entrada y a la salida	• Ofrece datos sobre el origen y el destino que son útiles para la planificación. • Permite la aplicación de tarifas basadas en la distancia.	• Genera problemas cuando no se procesa correctamente el egreso. • Reduce la capacidad de salida de las estaciones.

preponderante al tomar esta decisión y se deben considerar también las desventajas. Los sistemas sin barreras para la validación de boletos son vulnerables al fraude y a la evasión si no se instalan adecuadamente, lo que puede afectar a la fuente de ingresos del operador. Existen maneras más eficaces de mejorar la capacidad y se deben abordar de manera constante en todo el sistema para evitar los cuellos de botella (cuadro 5.9).

Estimación del costo de capital

La historia de los proyectos de infraestructura a gran escala del siglo pasado, y de los proyectos ferroviarios urbanos en particular, demuestra que las estimaciones de costos antes de la construcción son indicadores muy poco confiables respecto del costo real de implementación, siendo el costo final por lo general mucho mayor que el previsto. Sin embargo, es importante contar con una previsión razonable de los costos financieros para la construcción y la operación a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto.

Para cualquier proyecto ferroviario urbano, se deben estimar dos tipos de costos: el costo inicial de construcción y puesta en marcha (costos de capital), y los costos ordinarios de operación, mantenimiento, y rehabilitación y renovación de capital.[4] La estimación de los costos de capital y ordinarios es necesaria para la evaluación económica de los costos y beneficios del proyecto, y para el análisis fiscal y financiero del proyecto (capítulo 3). También es fundamental una estimación racional de costos para convencer a los responsables de la toma de decisiones, las entidades de financiamiento y el público en general de que el proyecto es creíble. Las estimaciones de costos brindan información esencial para la evaluación comparativa de alternativas de planificación

(capítulo 3), la optimización de proyectos (capítulo 6), la preparación de los documentos de licitación (capítulos 8 y 9), el fondeo y el financiamiento (capítulo 10), la construcción (capítulo 11), y la sostenibilidad financiera a largo plazo de la operación y el mantenimiento del sistema (capítulo 13).

En esta sección, se incluye una descripción general de los costos de capital para los sistemas ferroviarios urbanos (véase el capítulo 13 para obtener un análisis complementario de los costos ordinarios), se destaca la importancia de preparar estimaciones de costos ascendentes desglosadas y basadas en el diseño detallado del proyecto, y se analiza cómo mitigar los impactos de los factores externos fuera del control del diseño del proyecto.

Factores clave que impulsan los costos de capital

Los costos de capital inicial son gastos fijos que se pagan por única vez y en los que se incurre por la compra de terrenos; la construcción de estaciones, instalaciones y vías; la adquisición de material rodante; la mitigación de los problemas sociales y ambientales, y la implementación de sistemas (como el electromecánico, de señalización y de emisión de boletos) necesarios para el inicio del servicio ferroviario urbano. Los costos de capital también incluyen costos de financiamiento y estructuración (como cuentas de reserva para el servicio de la deuda), especialmente cuando en un proyecto participa un inversionista u operador privado. En otras palabras, los costos de capital representan el costo total necesario para que un proyecto ferroviario urbano pase de la planificación a un estado comercialmente operable.

A los fines de la estimación, los costos de capital se deben desglosar en categorías estándares (y subcategorías detalladas) que eviten omisiones y cómputos dobles. En los Estados Unidos, la Administración Federal de Transporte (FTA) estableció un marco estándar para la estimación y la comparación de costos de capital, indicados en el recuadro 5.3.

Un componente importante del costo de capital que se suele pasar por alto es el costo de servicios profesionales o "costos intangibles". Los costos intangibles son los gastos necesarios para planificar, diseñar y administrar el proyecto durante la construcción y la puesta en marcha[5]. Por lo general, incluyen la gestión del proyecto, la ingeniería preliminar, el diseño final, la gestión de la construcción y gastos administrativos, tarifas de permisos y revisiones, seguros de no construcción, sondeos y pruebas, y algunos de los costos de la puesta en marcha (véase el recuadro 5.3). Los servicios de planificación e ingeniería preliminar pueden llegar a representar el 3 % del costo de construcción (costo tangible) del proyecto; los costos intangibles adicionales pueden representar tanto como el 20 % del gasto de capital total (TCRP, 2010). Por lo tanto, los costos intangibles representan una proporción importante del costo

RECUADRO 5.3.

Ejemplo de categorías de costos de capital, incluidos los servicios profesionales, para proyectos ferroviarios urbanos

- Vía y elementos de vía
- Estaciones, paradas, terminales y conexiones intermodales
- Instalaciones complementarias: patios, comercios y edificios administrativos
- Obras en el sitio y condiciones especiales
- Sistemas
- Plataforma segregada, adquisición de terrenos y mejoras existentes
- Mitigaciones sociales (reasentamiento y compensación por desplazamiento económico)
- Mitigación del impacto ambiental
- Vehículos
- Cargos financieros
- Servicios profesionales
  - Diseño preliminar y final
  - Gestión de proyectos para el diseño y la construcción
  - Administración y gestión de la construcción
  - Responsabilidad profesional y otros seguros no relacionados con la construcción
  - Difusión pública
  - Tarifas legales, de permisos y de revisión
  - Sondeos, pruebas, investigaciones e inspecciones
  - Puesta en marcha
- Contingencia no asignada

Fuentes: FTA, 2005; TCRP, 2010.

general de cualquier proyecto ferroviario urbano y no se pueden pasar por alto durante la estimación de costos y la elaboración del presupuesto. Los costos intangibles tienden a ser constantes entre los diferentes tipos de proyectos de obra civil dentro de un país en particular, pero varían mucho según el país. La mejor fuente para estimar los costos intangibles son los ingenieros civiles con conocimientos de la ciudad en cuestión.

Métodos para la estimación de costos

Se usan dos métodos para estimar los costos de un proyecto ferroviario urbano, cada uno de los cuales se aplica en un paso diferente del proceso de desarrollo del proyecto. Durante el primer paso de toma de decisiones y planificación de un proyecto ferroviario urbano, los costos se suelen estimar por analogía, utilizando categorías ampliamente agregadas de costos derivados de proyectos comparables como valor de referencia. Estos valores de referencia brindan estimaciones aproximadas del orden de magnitud de los costos del proyecto útiles para evaluar el impacto económico, financiero y fiscal de un posible proyecto (véase el capítulo 3). Durante el diseño, la estimación

ascendente de costos se calcula a partir de opciones de diseño individuales desglosadas a un punto donde los costos unitarios pueden determinarse más creíblemente a partir de la experiencia en mercados específicos de construcción y ajustarse a las condiciones locales.

Establecimiento de parámetros comparativos

Durante la fase de planificación, hay muy poca información disponible sobre un proyecto más allá de las características más básicas. Las cantidades que suelen estar disponibles son el trazado en planta de la ruta, un cálculo general de la cantidad de plataforma segregada adicional que se debe realizar, los kilómetros de ruta para cada uno de los tres tipos de trazado en alzado (subterránea, elevada y a nivel), la cantidad de estaciones y patios de maniobras, la capacidad máxima expresada como pasajeros por hora por dirección y alguna indicación de la cantidad de material rodante necesaria. Por lo tanto, las estimaciones preliminares de costos utilizan analogías con sistemas ferroviarios urbanos comparables a fin de identificar el costo de estas categorías.

Lo primero que se debe hacer es seleccionar los casos más relevantes. Se deben elegir cuidadosamente los parámetros comparativos, comenzando con una completa consideración del contexto. Las mejores fuentes de experiencia aplicable son siempre las más próximas (la misma ciudad, el mismo país, la misma región o el mismo régimen jurídico y fiscal). Toda ciudad que busque ejecutar un nuevo proyecto ferroviario urbano necesariamente tendrá un tamaño considerable. Debe tener experiencia previa en la implementación y gestión de proyectos de infraestructura de gran envergadura. Aunque esta experiencia no incluya proyectos ferroviarios urbanos, la experiencia local será la guía más confiable para muchos componentes de costos, como el costo y el plazo de adquisición de terrenos, el costo de mano de obra y materiales, y el cálculo de costos intangibles para el diseño, la gestión de la construcción y la supervisión del proyecto. Si la ciudad ya tiene una línea ferroviaria urbana, esta debe ser el principal parámetro comparativo.

Al elegir un parámetro comparativo, los organismos de ejecución del proyecto deben preferir los proyectos más recientes además de los más cercanos. Debido a los avances tecnológicos y a la creciente competencia en la fabricación y el suministro de determinadas características de los sistemas ferroviarios urbanos (sobre todo en el material rodante), los precios han caído dramáticamente en la última década. Los cambios en los mercados deben tenerse en cuenta explícitamente al utilizar parámetros comparativos históricos para las primeras estimaciones de costos.

Si se utiliza un proyecto ferroviario urbano diferente con el fin de establecer parámetros comparativos, el primer paso debe ser realizar ajustes según las

diferencias en el alcance y las características del diseño del proyecto, el método contable, la disponibilidad y el precio de los materiales y el suministro de los sistemas, el contexto local y la capacidad del organismo de ejecución del proyecto entre el proyecto de referencia y el proyecto en cuestión.

Estimación ascendente

Una estimación de ingeniería es un modelo ascendente del costo del proyecto, según el detalle de cantidades del diseño del proyecto. Las estimaciones del costo de capital incluyen el diseño físico de la infraestructura fija y las especificaciones para los equipos y los sistemas. Por lo general, las estimaciones de ingeniería se preparan para la ingeniería preliminar y nuevamente para el diseño final utilizando un enfoque de costo unitario:

$$\sum_i \text{(cantidad)} \times \text{(costo unitario)} \times \text{(factores de ajuste)}. \qquad (5.1)$$

Los costos unitarios se calculan en función de varias fuentes. En la mayoría de los países de ingreso alto, las bases de datos de costos de construcción son el primer punto de referencia[6]. Las licitaciones recientes para obras similares son otra fuente importante de costos unitarios. El costo final de la licitación suele ser sensible al nivel de competencia percibido por parte de los licitantes, así como a la demanda general de grandes proyectos de construcción en comparación con la disponibilidad de contratistas calificados. Sin embargo, suele ser difícil predecir el mercado de proveedores y contratistas y las primas de los licitantes potenciales, sobre todo para proyectos ferroviarios urbanos de gran envergadura. Es una práctica común realizar un "sondeo de mercado" en algún momento para obtener opiniones de un panel de contratistas y proveedores calificados para determinar el nivel de interés (y probable competencia de precios) e identificar otros factores para ajustar los costos unitarios.

Las estimaciones ascendentes de ingeniería se basan en los costos previstos con un determinado grado de incertidumbre. La incertidumbre se cuantifica como una reserva para contingencias. Según el nivel de detalle del diseño, el factor de contingencia sería del 30 % al 35 % para el diseño conceptual, del 15 % para la ingeniería preliminar y del 10 % para el diseño final. Para la construcción subterránea, la contingencia para obra civil debería ser mayor y variaría según la calidad de los sondeos geotécnicos en los que se basa el diseño, además de la familiaridad de los licitantes con la construcción subterránea en condiciones locales. Las consecuencias de circunstancias o eventos imprevistos pueden atribuirse al organismo de ejecución del proyecto, los contratistas, los proveedores u otras partes (véase el capítulo 7). Aunque la distribución de estos costos depende principalmente del texto del contrato y la ley local, en todos los casos, las contingencias y los eventos imprevistos aumentan los costos del proyecto.

Por estos motivos, es muy importante presupuestar factores de contingencia considerando las secciones relevantes del contrato y la experiencia local con otros proyectos de gran envergadura. Además de la etapa de ingeniería, los arreglos contractuales y procesos legales para ajustar el presupuesto del contrato a lo largo del proceso de desarrollo se encuentran, por lo general, entre los factores más importantes que afectan los costos de casi cualquier proyecto de construcción de gran envergadura (véanse los capítulos 8, 9 y 10).

En resumen, la mejor manera de obtener una comprensión confiable del costo total del proyecto es desglosar sus componentes y observar la manera en que se derivan las cantidades individuales y los costos unitarios. Esto debe hacerlo alguien con amplia experiencia en contabilidad y operación de sistemas ferroviarios urbanos, preferentemente del mismo país en el que se realiza el proyecto.

Asignación de responsabilidades relacionadas con la estimación de costos

En la ejecución tradicional de proyectos de diseño, licitación y construcción, el organismo público de ejecución del proyecto debe completar las estimaciones ascendentes de costos en función del diseño detallado del proyecto para controlar las incertidumbres relacionadas con los costos antes de licitar. En el caso de los proyectos en que el diseño y la construcción se licitan de forma conjunta como un contrato de precio fijo o de suma global, las estimaciones ascendentes de costos pueden basarse en el diseño preliminar (véase el capítulo 8).

Lo que varía entre las estimaciones ascendentes de costos durante el diseño preliminar y el diseño final es la precisión de las partidas y sus estimaciones cuantitativas, la fuente y la viabilidad de los costos unitarios, y la incertidumbre que representan los factores de ajuste. A medida que el diseño y las especificaciones se vuelven más detallados, también lo hacen las estimaciones de cantidades y los costos unitarios usados para la adquisición y construcción del proyecto. Esto también se aplica a los factores de ajustes que son determinados principalmente por las características del diseño, el plan de gestión del proyecto, los detalles de los arreglos contractuales y el plan de operación del sistema ferroviario urbano completo. Mientras más desglosada (específica) es la base de las estimaciones de diseño del proyecto, más creíble es.

Cualquier estimación de costos del proyecto se debe confiar a ingenieros y profesionales calificados con experiencia y capacitación especializadas. Si se usa un método de ejecución de proyectos de diseño, licitación y construcción tradicional, se aconseja que la unidad de gestión de proyectos tenga el conocimiento especializado necesario para garantizar la calidad de las estimaciones (usando su propio personal o contratando expertos especializados) (véase el capítulo 4). Como se describe en el capítulo 6, también es fundamental llevar a cabo ejercicios

de optimización periódicos durante el diseño del proyecto. Aunque los enfoques alternativos de ejecución de proyectos pueden cambiar la secuencia y la responsabilidad de actualizar y mejorar las estimaciones de costos (sobre todo en contratos de precio fijo), independientemente del método de adquisición elegido, el organismo de ejecución del proyecto debe comprender y aprobar todas las estimaciones de costos del proyecto.

Variabilidad de los costos de capital

Las investigaciones demuestran que comparar proyectos con respecto a una combinación de parámetros totales (como costos globales por kilómetro, cantidad de estaciones y porcentaje de la ruta que es subterránea) tiene un valor limitado si no se realiza un buen análisis de todas las características de diseño y otros factores determinantes de los costos internos y externos relacionados con el proyecto, la ubicación y el contexto. Se ha comprobado que las estimaciones iniciales de costos de capital (y ordinarios) para sistemas ferroviarios urbanos no son buenos indicadores del desempeño y los costos reales. Esta alta variabilidad hace que sea extremadamente difícil establecer parámetros comparativos en cuanto a costos usando costos ampliamente agregados derivados de proyectos "comparables" en las etapas de planificación. Se hace hincapié en la necesidad de realizar una cuidadosa estimación ascendente de costos en función del diseño final de todas las características y opciones.

El costo informado de capital por kilómetro de ruta varía en gran medida según el proyecto (Flyvbjerg, Bruzelius y van Wee, 2008). Parte de esta variación se debe a los errores o las diferencias en el alcance y los métodos contables de los informes o a atributos específicos del diseño del sistema (como el trazado, la distancia entre las estaciones, el porcentaje subterráneo o la densidad de la demanda de pasajeros). No obstante, las mayores fuentes de variación pueden ser factores menos tangibles.

En términos de alcance y métodos contables, cada sistema categoriza y representa los costos de manera diferente, y siempre es difícil identificar todos los gastos en los que se incurre en megaproyectos como los ferroviarios urbanos. Por ejemplo, es común que partes de una línea ferroviaria urbana use plataforma segregada pública ya existente que se ejecutó previamente, a veces con otro fin. Aunque es posible que no haya costos directos de adquisiciones cuando se utilizan terrenos púbicos existentes, estos terrenos siguen representando un valor económico que se podría usar para otro desarrollo u objetivo. Esta pérdida de valor potencial de los terrenos en general se suele informar como parte de la estimación de costos de un proyecto. Además, cada estimación se basa en una fuente diferente, con frecuencia de un año diferente y en la que se utilizan maneras diferentes de ajustar los costos en función de la inflación.

Con ajustes y métodos contables cautelosos, muchas de estas diferencias de alcance y métodos se pueden corregir para generar costos comparables para sistemas de diseño similar. Sin embargo, incluso en esos casos, los costos reales pueden variar significativamente según el contexto local y la capacidad del organismo de ejecución del proyecto. Por ejemplo, el entorno cultural, jurídico y fiscal de la ciudad puede afectar en gran medida el costo del sistema. La perspectiva y los procedimientos para la ejecución de proyectos de construcción están fuertemente ligados a la cultura y las normas en materia de ingeniería de una ubicación en particular, y hay diferencias importantes entre los distintos países. Los impuestos se deben detallar en las estimaciones de costos, ya que pueden variar mucho y suelen ser un factor importante en el presupuesto general. Los organismos públicos tienen diferentes grados de exención de impuestos y responsabilidad en el lugar de trabajo. Esto puede tener un impacto importante en los costos, sobre todo en países con tarifas proteccionistas estrictas y normas de contenido local.

Por último, el costo del proyecto puede verse afectado por la calidad y el tipo de estructura del contrato, el financiamiento, y la agrupación y gestión de proyectos. Prácticamente ningún proyecto se construye y opera con el precio estimado originalmente. Siempre se realizan ajustes en cuanto al alcance, la calidad, el cronograma y, por lo tanto, el precio. En los proyectos en los que la supervisión directa por parte del organismo de ejecución es deficiente, la diferencia entre las cantidades reales y previstas suele ser considerable. Por lo tanto, se debe prestar especial atención a la planificación de la gestión de proyectos (véase el capítulo 4) y la optimización de las características del proyecto y sus costos (véase el capítulo 6).

Factores externos determinantes de los costos

El diseño cuidadoso y la optimización de las características de un sistema ferroviario urbano y su integración le permiten al organismo de ejecución del proyecto ejercer el mayor nivel de control o aprovechar para reducir los costos y obtener la mayor optimización de recursos del sistema. Sin embargo, muchos factores que afectan el costo de implementación del sistema escapan al control del organismo de ejecución del proyecto. Estos factores externos varían según el contexto local del sistema, pero suelen incluir normas y estándares; condiciones geotécnicas; disponibilidad y precio de los terrenos; necesidad de mitigación social y ambiental (véanse los capítulos 14 y 15), y entornos industriales, institucionales y políticos propicios. Los organismos de ejecución del proyecto deben realizar una inversión adecuada en los estudios previos requeridos para comprender esos factores externos y los riesgos y las limitaciones asociados (véase el capítulo 7), para luego incorporar estos conocimientos en la planificación y el

diseño. La inversión en estudios y sondeos detallados para investigar estos factores externos de costos prácticamente siempre termina compensándose.

Las condiciones geotécnicas pueden afectar la elección del trazado en planta y alzado y el costo de construcción, especialmente de tramos subterráneos. Es necesario un estudio cuidadoso de las características hidrogeológicas y geotécnicas del terreno para diseñar el nivel adecuado de soporte estructural y para estimar con precisión el costo de construcción (véase el capítulo 11). En estos estudios también se informa sobre los riesgos de sismos y otros riesgos naturales que puede enfrentar el proyecto y se brinda información sobre el diseño de medidas de resiliencia y mitigación adecuadas (capítulo 17). Se destaca nuevamente la importancia de asignar recursos suficientes para realizar sondeos durante la etapa inicial de planificación del proyecto. Dado que los tramos subterráneos suelen ser el factor más importante que determina los costos iniciales y pueden representar las mayores incertidumbres durante la construcción, es imprescindible investigar las condiciones del suelo y el riesgo geotécnico con suficiente detalle como para poder determinar su costo de manera adecuada en el contrato de adquisición.

Al diseñar el trazado en planta del sistema ferroviario urbano, las áreas de vías y de estaciones se deben construir sobre terrenos públicos existentes siempre que sea posible. Si no hay terrenos públicos disponibles, es importante considerar la disponibilidad de terrenos, el precio de diferentes predios y cómo la adquisición de terrenos puede afectar el cronograma de ejecución del proyecto. Las demoras debido a que el reasentamiento y la expropiación no se realizan en tiempo y forma pueden perjudicar la implementación; en consecuencia, la evaluación del impacto social y de la adquisición de terrenos y el reasentamiento se debe programar adecuadamente en el diseño y la construcción del proyecto. Se debe realizar un inventario de la ubicación, las condiciones y el uso de todos los edificios que se encuentran sobre el terreno o adyacentes a este y que se usarán para el desarrollo ferroviario urbano, y se deben tomar medidas para reducir el impacto del proyecto en los residentes actuales y en los dueños de propiedades colindantes (capítulo 14). Además de este inventario de actividad económica y social en superficie, es importante realizar un sondeo detallado de las redes de servicios públicos que puedan pasar por el trazado, para que se puedan reubicar o evitar durante la construcción. Las demoras a causa de la identificación y la reubicación de servicios públicos inadecuados antes del inicio programado de la construcción pueden ser considerables (capítulo 11).

El entorno local, en términos de costos locales para hacer negocios y poner en marcha la construcción y la organización institucional, también puede afectar el costo y el valor de un proyecto ferroviario urbano dado. En las estimaciones de costos a cualquier nivel se deben considerar el tipo de cambio del capital

extranjero, las tasas de interés para el financiamiento local, los costos de mano de obra local y las normas laborales. Además de estos costos para hacer negocios, el presupuesto del proyecto (y el cronograma) puede verse afectado por la capacidad técnica del organismo de ejecución del proyecto, el estado de desarrollo de la industria de la ingeniería y la construcción en el país, los niveles locales de coordinación entre instituciones y el tiempo necesario para obtener permisos y autorizaciones (capítulo 4).

Conclusiones y recomendaciones

No existe una única "regla de oro" para el diseño del sistema ferroviario urbano. Es fundamental invertir en un diseño que permita adaptar el sistema a las condiciones únicas del área local donde prestará servicio y al plan de servicio de operaciones para el cual se diseña. Los sistemas ferroviarios urbanos son complejos y requieren del diseño de muchas características interdependientes. La infraestructura, el material rodante y los sistemas se deben diseñar de manera tal que puedan adaptarse a un plan de servicio de operaciones a largo plazo identificado de manera anticipada. Aunque existen normas internacionales para determinadas características, no hay un diseño único válido para todos los contextos. Los sistemas ferroviarios urbanos más exitosos se diseñan y se construyen de acuerdo con las condiciones únicas de las zonas urbanas en las que prestan servicio. Esta adaptación del diseño es fundamental y requiere tiempo y recursos al principio de la planificación y el diseño preliminar del proyecto para evaluar las necesidades específicas en materia de transporte de la región urbana y el corredor ferroviario, además de factores externos como las condiciones del suelo y las limitaciones en la capacidad técnica y financiera del organismo de ejecución del proyecto. Los estudios de planificación y de diseño, la selección e integración cuidadosa de las opciones de diseño, y la revisión externa y la optimización de estos diseños integrados representan una parte importante de los costos del proyecto, pero tienen un alto rendimiento sobre cada dólar invertido.

Diseño para la capacidad a largo plazo del sistema. Los sistemas ferroviarios urbanos ofrecen la mayor capacidad de transporte de pasajeros y la mayor fiabilidad en comparación con cualquier alternativa de transporte público de alta capacidad a cambio de una gran inversión de capital. Las investigaciones muestran que los sistemas ferroviarios urbanos suelen tener costos fijos más altos que los variables y tienen fuertes "rendimientos por densidad" (Banco Mundial y RTSC, 2017). La maximización de la capacidad de diseño ayuda a aprovechar al máximo la costosa infraestructura ferroviaria urbana. Incluso si la demanda es menor en

los primeros años, puede resultar imposible o excesivamente costoso corregir los errores que se cometan al diseñar una capacidad que sea demasiado baja para el largo plazo. Por lo tanto, se recomienda considerar un horizonte de diseño a largo plazo y diseñar sistemas con la flexibilidad para hacer circular trenes más largos, más anchos y con mayor frecuencia en el futuro a fin de satisfacer el crecimiento de la demanda. Si la demanda subyacente justifica las inversiones en los ferrocarriles urbanos, los beneficios de las mejoras adicionales de la capacidad inicial pueden superar ampliamente los costos.

En el diseño ferroviario urbano se deben considerar compensaciones en relación con la capacidad del sistema, la flexibilidad operacional y los costos de características individuales, así como las interdependencias entre ellas. En este capítulo, se presentan las ventajas y desventajas generales de las características y opciones de diseño en tres amplias categorías: obra civil y de infraestructura, material rodante y sistemas. Si bien es importante considerar las compensaciones entre las opciones de diseño individuales, en el diseño del proyecto se debe adoptar un enfoque de sistemas que permita reconocer las interdependencias físicas y temporales entre varias características (Banco Mundial y RTSC, 2017). Es fundamental analizar cuidadosamente cómo interactúan y avanzan juntas las características del diseño, además de las implicaciones de estas interrelaciones tanto para los costos de capital como para los ordinarios.

Los sistemas ferroviarios urbanos se deben diseñar como parte de un sistema de transporte público integrado que facilite la accesibilidad y la capacidad de conexión entre las modalidades de transporte urbano. La integración multimodal es un elemento fundamental en el diseño ferroviario urbano. Un proyecto ferroviario urbano suele requerir medidas complementarias para mejorar el acceso desde y hacia las áreas de la estación a través del transporte público y modalidades no motorizadas de transporte, como el traslado a pie y en bicicleta. Por lo tanto, en el diseño y las estimaciones de costos se debe tener en cuenta la implementación de inversiones complementarias en otros servicios de transporte público, la gestión del tráfico y otras iniciativas, y se debe utilizar como referencia la última estrategia de transporte urbano de la ciudad (véase el capítulo 3). Es fundamental identificar y definir estas consideraciones durante la planificación y el diseño preliminar en vez de esperar hasta el diseño final o la construcción, cuando las consecuencias para el proyecto pueden ser irreversibles.

En la estimación de costos durante la fase de diseño de un proyecto ferroviario urbano se deben usar técnicas ascendentes para reflejar las características individuales del diseño. Debido a las diferencias en las prácticas de contabilidad de costos y las condiciones locales, los costos

ordinarios y de capital varían en gran medida de un proyecto ferroviario urbano a otro. Como resultado, el establecimiento de parámetros comparativos para la estimación de costos de acuerdo con categorías agregadas suele implicar grandes márgenes de error. Si bien suele ser necesario realizar dichas estimaciones comparativas durante la planificación inicial, cuando el proyecto ingresa a la fase de diseño, se recomienda emplear técnicas ascendentes para reflejar los costos unitarios de las características individuales del diseño dentro del mercado local. Mientras más detallado es el nivel de diseño, más precisas serán las estimaciones de los costos de capital y de operaciones.

Notas

Los autores desean agradecer a Efraín Bastidas, Dan Turk y William Thornton por sus importantes aportes de contenido e investigaciones, así como a los revisores Bianca Bianchi Alves, Jorge Rebelo y Navaid Qureshi, del Banco Mundial, a Juan Antonio Márquez Picón, de Metro de Madrid, y a Amsler Yves, Dionisio González y Laurent Dauby, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por compartir su experiencia y sus críticas constructivas durante el desarrollo de este capítulo.

1. Resulta difícil prever con precisión la cantidad de pasajeros del sistema de transporte colectivo en masa y la predisposición de estos para cambiar de modalidades, sobre todo en países de ingreso medio y bajo, en los que no existe un registro de dichos sistemas. La cantidad de pasajeros depende de muchos factores (como los servicios alimentadores, la facilidad de conexión y las políticas de gestión de la demanda) y es difícil predecir de antemano el ritmo de la ejecución (véase el capítulo 3).
2. Los materiales asfálticos suelen provenir de materiales orgánicos derivados del petróleo, los que pueden tener un ciclo de vida más corto (30 años) que otros componentes de la infraestructura. Por lo tanto, los lechos sintéticos pueden ser más adecuados que los asfálticos en algunas situaciones.
3. Al menos una tercera parte de los sistemas ferroviarios urbanos en el grupo de referencia del metro Nova funcionan a este nivel o a un nivel superior, mientras que otros quisieran hacerlo pero están limitados por sus sistemas de señalización (Cohen y otros, 2015). El intervalo operativo entre trenes puede reducirse a 80 segundos, e incluso a 60 segundos, como ocurre con el sistema de vehículos automáticos ligeros (VAL) en Lille, Francia.
4. El costo ordinario de rehabilitación y renovación del capital se suele incluir en los gastos de capital anuales o plurianuales del operador (véase el capítulo 13).
5. Los costos intangibles también están relacionados con las instituciones y la administración necesarias para operar y mantener el sistema ferroviario a la hora de considerar los costos ordinarios del sistema.
6. Por ejemplo, la FTA mantiene la Base de Datos de Costos de Capital (https://www.transit.dot.gov/capital-cost-database) y la Base de Datos Nacional de Tránsito (https://www.transit.dot.gov/ntd).

Bibliografía

Cohen, Judith M., Alexander S. Barron, Richard J. Anderson y Daniel J. Graham (2015), "Impacts of Unattended Train Operations on Productivity and Efficiency in Metropolitan Railways", en *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2534: pp. 75-83.

Flyvbjerg, Bent, Nils Bruzelius y Bert van Wee (2008), "Comparison of Capital Costs per Route-Kilometre in Urban Rail", en *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 8 (1): pp. 17-30.

Administración Federal de Transporte (FTA) (2005), *Standard Cost Categories for Capital Projects*. Washington, DC, FTA, https://www.transit.dot.gov/funding/grant-programs/capital-investments/standard-cost-categories-capital-projects.

Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) (2006), *Railway Applications: Urban Guided Transport Management and Command/Control Systems*. Part 1: *System Principles and Fundamental Concepts,* Standard 62290-1, Ginebra, IEC.

Ministerio de Ferrocarriles (2009), *Manual for Standards and Specifications for Railway Stations*. Vol. 1: *Development of World Class Stations through Public Private Partnership,* Nueva Delhi, India, Ministerio de Ferrocarriles.

Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito (TCRP) (2010), *Estimating Soft Costs for Major Public Transportation Fixed Guideway Projects*, informe 138, Washington, DC, Transportation Research Board, www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/2010_tcrp_rpt_138.pdf.

Unión Internacional de Transporte Público (UITP) (s. f.), "Metro Automation Facts, Figures, and Trends", UITP, Bruselas, http://metroautomation.org/wp-content/uploads/2012/12/Automated_metros_Atlas_General_Public_2012.pdf.

ONU-Hábitat (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos) (2013), "Metro, tren ligero y sistemas de autobús rápido (BRT)", en *Planificación y diseño de una movilidad urbana sostenible: Informe mundial sobre asentamientos humanos 2013, capítulo* 3, Nueva York, ONU-Hábitat, https://unhabitat.org/books/planificacion-y-diseno-de-una-movilidad-urbana-sostenible-espanol-language-version/.

Grupo Banco Mundial y Centro de Estrategia Ferroviaria y del Transporte (RTSC) en el Imperial College London (2017), "The Operator's Story: Emerging Findings", presentación en el Foro Internacional del Transporte, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Leipzig, Alemania, mayo, https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/The-Operator%27s-Story---Emerging-Findings---Leipzig-May-2017.pdf.

Zhang, Ming (2009), "Bus Versus Rail: Meta-Analysis of Cost Characteristics, Carrying Capacities, and Land Use Impacts", en *Transportation Research Record* 1: pp. 87-95, http://dx.doi.org/10.3141/2110-11.

Lecturas adicionales

Railsystem (2015a), "Railway Platform and Types", Railsystem.net, http://www.railsystem.net/railway-platform-and-types/.

—— (2015b), "Platform Screen Doors (PSD)", Railsystem.net, http://www.railsystem.net/platform-screen-doors-psd/.

6 OPTIMIZACIÓN DE PROYECTOS

Edward Fleischman, Ramón Muñoz-Raskin
y Joanna Moody

Cuando un proyecto ferroviario urbano avanza por las etapas de planificación y diseño, entran en juego implicaciones tanto de fondos como políticas. En el proceso de toma de decisiones intervienen diversas partes interesadas que tienen diferentes objetivos e influyen en el diseño del proyecto y, por consiguiente, en el costo, el plazo de ejecución, los riesgos y su valor inherente como solución de transporte público. La optimización de proyectos respalda decisiones que pueden tener importantes repercusiones sobre los recursos o el desempeño a corto y largo plazo del proyecto. Estas decisiones del proyecto se deben reevaluar y validar a medida que avanza el proyecto. La optimización de proyectos es, por lo tanto, un proceso continuo para incrementar el valor de un proyecto tanto para los promotores como para los usuarios finales. El valor del proyecto se presenta de muchas maneras. Para el organismo de ejecución del proyecto, se genera valor al reducir los riesgos, acortar el plazo de ejecución o reducir los costos. Desde el punto de vista de los usuarios, el valor del proyecto se basa en la reducción del costo de los boletos, la mejora de la accesibilidad gracias a rutas más rápidas y directas, y mejores frecuencias y fiabilidad, además de mayor sostenibilidad, comodidad y seguridad.

Los principios de la optimización se deben aplicar a todos los proyectos y la optimización debe ser un objetivo fundamental para

Fotografía: Puente Dom Luís I, Porto, Portugal, 2017. *Fuente:* (CC BY-NC-ND 2.0).

todos los equipos de elaboración de proyectos. Habida cuenta de la magnitud y la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos, sus altos costos de operación e inversión, y la gran variedad de impactos que causan sobre el tejido urbano, la economía y la sociedad, es fundamental minimizar los costos de su ciclo de vida y optimizar sus beneficios socioeconómicos. Dado que los proyectos ferroviarios urbanos son extremadamente complejos, tienen altos costos y requieren de conocimientos especializados de muchas disciplinas, se crea una mayor oportunidad de optimizar sus costos y la eficacia.

La optimización de proyectos ayuda a identificar oportunidades no vinculantes de reducir costos, tiempos y riesgos con el objetivo de aumentar el valor general del proyecto. La decisión acerca de la implementación de estas oportunidades le corresponde al equipo de gestión y decisión del proyecto. Las metodologías de optimización de proyectos son herramientas poderosas para hacer que los proyectos sean más sólidos y valiosos para las partes interesadas. Son especialmente valiosas cuando los recursos (como el financiamiento o los conocimientos técnicos especializados) son limitados. La optimización de proyectos se debe considerar como una oportunidad, y no un ejercicio de auditoría, ya que permite encontrar y documentar posibilidades de mejora, en lugar de destacar cualquier deficiencia. Puesto que el personal de los organismos de ejecución del proyecto participa activamente en la preparación y la gestión de actividades de optimización, estas actividades pueden considerarse una oportunidad para fortalecer la capacidad interna, el conocimiento y la experiencia que permitirán beneficiar a otros proyectos en el futuro.

Aunque la optimización de proyectos puede añadir valor en todas las etapas del desarrollo y la ejecución de proyectos, cuanto antes se usen estas herramientas en el proceso, mayor será el potencial de obtener valor agregado. Se debe enfatizar un proceso de optimización implementado durante todas las etapas de planificación y diseño, como preparación para la construcción y la operación. El análisis debe ser realizado de manera continua durante la etapa de construcción, a medida que el proyecto avanza hacia la finalización. Aunque nunca es demasiado tarde para considerar oportunidades que generen valor, la implementación de cambios o intervenciones suele ser más compleja o costosa mientras más tarde se realice.

En este capítulo se analizan varios métodos de optimización de proyectos, que incluyen desde el análisis de valor a cargo del personal propio del proyecto hasta el uso de expertos externos para revisiones por pares, ingeniería de valor (IV), estudios de la viabilidad de la construcción y exámenes de operabilidad. En el análisis de valor, el personal del proyecto optimiza el diseño y la ejecución. En este esfuerzo interno se considera la eficacia en función de los costos de cada componente individual del diseño y se identifican maneras de reducir los costos o mejorar el desempeño. Se compara el costo del proyecto y cada componente individual

del diseño con la eficacia del proyecto y de cada componente individual. El análisis de valor de la eficacia en función de los costos de cada componente incorpora análisis de riesgos y análisis de costos del ciclo de vida. El análisis de riesgos ayuda a los responsables de la toma de decisiones a identificar y gestionar los riesgos de acuerdo con el alcance, el presupuesto o el plazo del proyecto (véase el capítulo 7). El análisis de costos del ciclo de vida permite identificar las compensaciones entre los costos iniciales, los de corto plazo y los de largo plazo para lograr una operación sostenible del sistema. Siempre se debe considerar la optimización desde la perspectiva del ciclo de vida (tanto de inversión como de la operación) de los activos, ya que una estrategia que reduce los costos de inversión inicial puede por otro lado aumentar los costos de operación y mantenimiento (O&M). Por lo tanto, el análisis de valor es una herramienta importante de optimización que el equipo del proyecto debe usar continuamente durante el desarrollo del proyecto.

Los esfuerzos de análisis de valor del personal del proyecto se deben complementar con el uso de expertos externos. Los expertos externos ofrecen un punto de vista imparcial y novedoso y pueden aportar una amplia base de conocimientos y experiencia de los que no disponen los organismos que no tienen la experiencia de haber implementado proyectos ferroviarios urbanos de gran envergadura. En este capítulo se analizan métodos de optimización de proyectos en los que intervienen expertos externos, particularmente en lo que respecta a revisiones por pares, IV, estudios de la viabilidad de la construcción y exámenes de operabilidad. En revisiones por pares, se emplea personal experimentado que ha trabajado en proyectos similares. La IV constituye un enfoque formal para optimizar el valor de cada componente del proyecto. Los estudios de la viabilidad de la construcción requieren el aporte de expertos en construcción para poder optimizar el costo de construcción y plazo del proyecto. De igual manera, los exámenes de operabilidad requieren el aporte de expertos en operación para analizar la flexibilidad operativa a largo plazo y los costos de mantenimiento del proyecto.

Los métodos de optimización analizados en este capítulo se pueden aplicar a la mayoría de los proyectos ferroviarios urbanos, independientemente del método de ejecución del proyecto. En algunos casos, las estrategias alternativas de ejecución de proyectos y contratación —como diseño y construcción y las asociaciones público-privadas (APP)— pueden ayudar a optimizar aún más un proyecto, como se analizará más adelante en este capítulo. Aunque estos métodos tienen diferentes niveles de sofisticación, si se estructuran cuidadosamente, pueden tener un retorno sobre la inversión muy alto para el promotor del proyecto, ya que brindan mayor flexibilidad en la optimización durante todo el desarrollo del proyecto.

Existen diferentes métodos para la optimización de proyectos. Cada uno de ellos tiene ventajas, desventajas y aplicabilidad para determinadas etapas del proceso de desarrollo del proyecto. Sin embargo, todos proporcionan beneficios a través de un proceso estructurado de optimización. Contar con un proceso formal permite que los Gobiernos nacionales y locales, las entidades de financiamiento y otros promotores del proyecto puedan tener más confianza en el diseño del proyecto y su eficacia en función de los costos. Incluir revisiones externas para complementar las iniciativas de análisis de valor implementadas por el personal propio incentiva aún más al equipo de diseño a ser creativo y flexible, identificar eficiencias en los plazos, reducir los costos y mitigar los riesgos. Para obtener el mayor valor del proceso de optimización de proyectos, las revisiones externas se deben realizar en coordinación con el personal propio del organismo de ejecución. El personal del proyecto y los principales responsables de la toma de decisiones deben estar bien informados de cómo funciona el proceso y de cuál es la mejor manera de contribuir a su valor. Los métodos de optimización de proyectos, tanto internos como externos, solo permitirán generar los mayores ahorros si el personal técnico y de gestión apoya la iniciativa desde el principio y participa activamente en ella.

La optimización de proyectos durante el desarrollo de proyectos

La optimización de proyectos es un importante proceso estratégico durante todo el desarrollo de un proyecto, pero su impacto es mayor cuando se aplica en las primeras etapas de la planificación y diseño. Durante la planificación, se debe llevar a cabo un análisis de alternativas que incluya los diferentes modos de transporte y trazados (véase el capítulo 3). En este análisis de alternativas se usan criterios (por ejemplo, el de eficacia en función de los costos) que ayudan a los responsables de la toma de decisiones a identificar la mejor alternativa para la ciudad y el corredor de transporte en consideración. El análisis de alternativas brinda una oportunidad de optimizar el valor de un proyecto, ya que permite comparar opciones y permite que el personal técnico y la administración dispongan de valiosa información relevante para optimizar la toma de decisiones en el proyecto.

Después de seleccionar la alternativa preferida de proyecto, el detalle se define en la etapa de diseño de una manera iterativa (véase el capítulo 5). En esta etapa, se emplean métodos de optimización para analizar la eficacia en

función de los costos y el valor de cada componente. En el cuadro 6.1 se enumeran los componentes ilustrativos de un proyecto ferroviario urbano típico para el que existe una importante oportunidad de optimizar su valor a lo largo las etapas de planificación y diseño. Además de analizar estos componentes del proyecto, las metodologías de optimización deben incluir un examen de los posibles métodos constructivos, los plazos de ejecución, los resultados de desempeño, y los riesgos y su mitigación.

Además de optimizar detalles particulares de la planificación y del diseño, también es útil aplicar un enfoque de eficacia en función de los costos al cronograma de ejecución del proyecto. Cuando un proyecto es ambicioso pero los recursos existentes son limitados, en la optimización del proyecto se puede considerar una ejecución en fases, con una fase inicial con factibilidad funcional diseñada para respaldar la futura expansión y ampliación del sistema ferroviario urbano en las fases o en los proyectos subsiguientes (véase el recuadro 6.1).

CUADRO 6.1. Componentes ilustrativos donde se puede optimizar el valor durante las etapas del proceso de elaboración de proyectos

ETAPA DEL PROCESO DE DESARROLLO DEL PROYECTO	COMPONENTES ILUSTRATIVOS PARA LA OPTIMIZACIÓN
Planificación del corredor (análisis de alternativas)	• Modalidad • Trazado en planta (vía segregada) • Interconectividad e integración con todo el sistema de transporte metropolitano o regional • Trazado en alzado (túnel, estructura elevada o a nivel) • Ubicación de patios, talleres y patios de mantenimiento • Adquisición de terrenos o reasentamientos • Impactos ambientales
Diseño preliminar	• Ancho de la vía segregada • Ajustes en el trazado • Cantidad, ubicación y tamaño, forma y método de construcción de las estaciones • Cantidad, tipo y tamaño de los vehículos que se adquirirán • Velocidad operativa
Diseño detallado	• Sistemas eléctricos • Acabados arquitectónicos • Método de construcción

RECUADRO 6.1.

Ejecución en fases y análisis de las opciones reales

Cuando la visión de un proyecto es ambiciosa pero los recursos son limitados, una manera de optimizar el proyecto es adoptar un enfoque de ejecución en fases. Este enfoque implica construir una parte inicial autosuficiente del proyecto en una primera fase, para poder contar con más tiempo para movilizar fondos, financiamiento y apoyo político para el diseño, la licitación y la construcción de fases adicionales del proyecto. Esta primera parte operable debe tener utilidad independiente; en otras palabras, debe funcionar y brindar beneficios por sí misma antes de la construcción de las partes adicionales. Para los organismos de ejecución con poca experiencia en proyectos ferroviarios urbanos complejos, la primera fase puede ofrecer una oportunidad para el fortalecimiento de la capacidad institucional antes de emprender la ampliación adicional. Las enseñanzas aprendidas a partir de la primera parte operable se pueden aplicar a las partes que se construyan posteriormente. La ejecución de una red de metro con extensiones de las líneas existentes o líneas nuevas es casi siempre un proceso continuo en fases que acompaña el crecimiento y el desarrollo de la ciudad.

Un enfoque de ejecución en fases se debe estudiar cuidadosamente para no limitar el potencial a largo plazo del proyecto. Se necesita una aplicación cuidadosa de la optimización del cronograma para garantizar que el primer tramo tenga suficiente valor para que sea utilizado por una cantidad adecuada de pasajeros y que la sociedad le brinde el consenso político correspondiente para respaldar los tramos posteriores. Si bien la ejecución en fases puede ser útil para reducir los costos iniciales y adaptar la ejecución del proyecto a un plazo limitado de oportunidad política y económica, también puede demorar la obtención de beneficios, sobre todo en los barrios que aún no están conectados al sistema. Por lo tanto, los ahorros generados a partir de los gastos inmediatos deben sopesarse con el costo de retrasar las fases adicionales, en términos tanto de inflación sobre el gasto de capital futuro como de beneficios futuros descontados.

Si se considera la ejecución en fases, es particularmente importante diseñar las fases iniciales teniendo en cuenta la ampliación o extensión. Es fundamental que la infraestructura y los sistemas iniciales sean capaces de hacer frente al aumento de la demanda y del servicio que puede surgir con las futuras fases del proyecto y la futura adaptación a la evolución tecnológica del sector (sistemas abiertos). La bibliografía sobre inversión comercial y planificación de sistemas proporciona una herramienta teórica y analítica útil para cuantificar el retorno sobre la inversión de las opciones de diseño que contemplan la flexibilidad futura: el análisis de opciones reales. Una opción real es una alternativa u opción (como la oportunidad de ampliar los proyectos si surgen determinadas condiciones) que se hace realidad mediante una inversión (Mun, 2006). Se la denomina "real" porque suele estar relacionada con activos tangibles, como mejoras tecnológicas o de infraestructura, en lugar de con instrumentos financieros. Por ejemplo, el organismo de ejecución puede optar por construir estaciones y andenes con mayor ancho que el necesario solo para cumplir con la cantidad de pasajeros proyectada para el futuro cercano. Aunque esta decisión insume más capital inicial, se ajusta al crecimiento demográfico futuro y ofrece la opción de ampliar el sistema sin necesidad de adaptar estaciones existentes, lo que sería más costoso a largo plazo.

(El recuadro continúa en la página siguiente).

RECUADRO 6.1.

Ejecución en fases y análisis de las opciones reales *(Continuación)*

En Lisboa, Portugal, las autoridades incluyeron la opción de la ampliación de los sistemas ferroviarios urbanos cuando planificaron otros proyectos de transporte metropolitano. El primer puente sobre el río Tajo se construyó para soportar cargas adicionales más allá de lo proyectado para el tráfico de automóviles y camiones sobre la superficie. Se realizó de manera tal que, en el futuro, se pudiera agregar una plataforma inferior para trenes. Si bien la capacidad ferroviaria no era necesaria en ese momento, al construir un puente más fuerte e incorporar una opción real, la autoridad pública contaba con la flexibilidad suficiente para crear una línea ferroviaria metropolitana que cruzara el río cuando se considerara práctico y conveniente teniendo en cuenta el entorno político, financiero y social. En 1999, se agregó una plataforma ferroviaria por debajo de los carriles de la autopista, lo que costó una fracción del precio de la construcción total de una estructura de puente completamente nueva (de Neufville, 2003; véase la imagen B6.1.1).

Incorporar estas opciones reales puede afectar enormemente el análisis de las posibles inversiones porque, a pesar de su mayor costo inicial y el riesgo de construir en exceso, pueden reducir considerablemente el costo de las mejoras futuras al sistema (Mun, 2006). Por lo tanto, el análisis de opciones reales (en conjunto con los análisis más tradicionales de flujo de efectivo descontado) puede ser un instrumento útil en la aplicación de los métodos de optimización de proyectos.

IMAGEN B6.1.1. Autopista y puente ferroviario sobre el río Tajo, Portugal

Fuente: Ribeiro Simões, a través de Flickr Commons.

Optimización a cargo del personal del proyecto: Análisis de valor

En el análisis de valor, el personal del organismo de ejecución del proyecto busca mejorar el valor general del proyecto (al reducir costos y riesgos o generar beneficios) sin comprometer la función y el desempeño del sistema a largo plazo. El valor se define como "el desempeño fiable de las funciones para satisfacer las necesidades de los clientes al menor costo global", donde el valor máximo para un proyecto se logra a través del equilibrio óptimo entre función, desempeño, calidad, seguridad y costo (SAVE International, 2016). Se examina todo el presupuesto que se invertirá.

La optimización de proyectos a través del análisis interno del valor se lleva a cabo durante todo el proceso de planificación, diseño, construcción y O&M; constituye una pieza integral del desarrollo del proyecto. En la etapa de planificación, el análisis de alternativas puede incorporar métodos de optimización, como la selección del modo de transporte y el trazado a nivel conceptual. En la etapa de diseño, la atención de la optimización pasa a centrarse en la eficacia en función de los costos y en el valor de componentes específicos del diseño.

En el análisis de valor de los componentes del diseño se debe emplear la experiencia multidisciplinaria del propio organismo de ejecución del proyecto. A tal efecto, se deben llevar a cabo reuniones periódicas con todo el personal del proyecto para analizar las compensaciones de costo y valor entre los componentes del diseño. Al considerar la optimización de proyectos en su conjunto, el equipo de proyecto puede aprovechar el mayor nivel de creatividad y resolución de problemas que se genera gracias a la dinámica del equipo interdisciplinario y reforzar la capacidad y los conocimientos de los que ya dispone la institución.

Análisis de riesgos

El análisis de riesgos es un proceso que ayuda al equipo de proyecto a identificar y gestionar posibles desafíos que podrían interferir en el desarrollo del proyecto ferroviario. Para cada posible problema identificado, el análisis de riesgos permite determinar la probabilidad de que suceda, así como la magnitud de su impacto en costos y plazos. Estos factores se tabulan en un "registro de riesgos" que se monitorea y se comparte entre el personal del organismo.

La complejidad del análisis de riesgos varía según la magnitud del proyecto y depende de la fase del desarrollo en la que se aplica. En las etapas iniciales de planificación, se puede usar un simple enfoque cualitativo para comprender los riesgos inherentes a las diferentes alternativas antes de optar por una en particular. Un enfoque cualitativo descendente (*top-down*)

permite categorizar cada riesgo en función de su importancia como bajo, medio o alto, en función de su probabilidad relativa y su impacto (Behr, 2016). Los enfoques cualitativos también son útiles cuando la información cuantitativa sobre los costos es escasa. En los casos en los que los componentes del diseño de un proyecto se definen mejor en una etapa posterior del proceso de desarrollo del proyecto y se cuenta con suficiente información sectorial —algo poco probable en países de ingreso medio y bajo— se usa un enfoque cuantitativo ascendente (*bottom-up*) más detallado con estimación numérica (monetaria) para la distribución de la probabilidad del impacto de cada categoría de riesgo y para simulaciones con el método de Montecarlo u otras técnicas que permiten cuantificar, valorar y transferir los riesgos en las etapas de licitación y contratación (Behr, 2016). En el capítulo 7, se analizan los métodos y herramientas específicas disponibles para identificar y analizar los riesgos, y los procesos de gestión que emplean este análisis.

El análisis y la gestión de riesgos ayudan a identificar los riesgos y fomentan la planificación temprana y proactiva para mitigar posibles problemas. Permiten, asimismo, controlar los costos a través del desarrollo de estrategias de respuesta directa para los riesgos previstos. Además, el uso de herramientas de análisis y gestión de riesgos demuestra una debida diligencia por parte del organismo de ejecución del proyecto. El análisis y la gestión rigurosa de riesgos ayudan a garantizar transparencia, integridad y rendición de cuentas durante todo el desarrollo del proyecto y a generar confianza y credibilidad en los planes y las estimaciones del proyecto para entidades de financiamiento y otras partes interesadas (Behr, 2016). El análisis de riesgos es una herramienta de optimización de proyectos que puede y debe aplicarse durante toda la elaboración del proyecto. Se debe llevar a cabo en conjunto con otras herramientas de optimización, como la IV, los estudios de la viabilidad de la construcción y los exámenes de operabilidad.

Análisis de costos del ciclo de vida

Es tentador para los responsables de la toma de decisiones y funcionarios electos centrarse en las consideraciones a corto plazo a la hora de tomar decisiones sobre el financiamiento en situaciones de presión presupuestaria. Se hace mucho hincapié en los costos iniciales, pero se presta poca atención a los costos o a cómo se puede comprometer la funcionalidad del proyecto en sus etapas posteriores (ASCE, 2014). Sin embargo, debido a que los proyectos ferroviarios urbanos aportan alta capacidad a los sistemas de transporte que se desarrollan durante más de un siglo, existen muchos costos que no se consideran inicialmente (véase el recuadro 6.2).

RECUADRO 6.2.

El presupuesto de construcción en comparación con el presupuesto de operación y mantenimiento: el metro de Madrid, España

El metro de Madrid ilustra la magnitud de los costos de construcción en comparación con los de O&M para los sistemas ferroviarios urbanos. Entre 1995 y 2015, Metro de Madrid gastó casi EUR 10 600 millones en construir aproximadamente 200 kilómetros de un nuevo sistema ferroviario urbano. Aunque esta inversión es grande, es pequeña en comparación con el costo de O&M del sistema en el futuro. El presupuesto anual para O&M de Metro de Madrid para todo el sistema ferroviario urbano (con una longitud total de 293 kilómetros) es de aproximadamente EUR 1000 millones. Considerando que se necesita este tipo de inversión todos los años para mantener funcionando la red durante 100 años, claramente es importante tener en cuenta los costos de operación incluso durante la planificación inicial y el diseño de las obras civiles.

Para mejorar la toma de decisiones a largo plazo, los planificadores y responsables de políticas deben pensar más estratégicamente sobre cómo construir y mantener los activos y las redes de transporte. El análisis de costos del ciclo de vida es una herramienta que brinda información detallada sobre los costos totales durante la vida útil del proyecto basada en datos e información respaldada. Un análisis integral de los costos del ciclo de vida permite calcular los costos iniciales de desarrollo, inversión y financiamiento, menos los costos de O&M, y los costos al final del ciclo de vida (desguace y reciclado de materiales) relacionados con cada componente específico del proyecto. El costo del ciclo de vida también puede incluir aspectos como la incertidumbre, los riesgos, el medio ambiente y la equidad. Cuando se lleva a cabo correctamente, este análisis permite lograr una comparación más precisa e imparcial de los proyectos y las alternativas de transporte, lo que puede ayudar a los responsables de la toma de decisiones a optimizar los recursos a largo plazo. Esta útil herramienta se puede incorporar en la IV o en otros marcos de optimización de proyectos.

Optimización con la intervención de expertos externos

Los proyectos ferroviarios urbanos son costosos y complejos, y pueden implicar importantes riesgos. Por tanto, existe amplia justificación para incluir los conocimientos especializados y la opinión de expertos externos en el proceso de optimización. Esto es particularmente importante para aquellos

organismos de ejecución de proyectos que no poseen experiencia en proyectos ferroviarios urbanos o que carecen de la capacidad técnica necesaria para llevar a cabo un análisis interno detallado del valor. Sin embargo, las opiniones independientes y honestas sobre el proyecto son beneficiosas tanto para los organismos que poseen experiencia como para los que no la tienen. Por lo tanto, se recomienda incluir expertos externos, ya que son fundamentales para la optimización de todo proyecto ferroviario urbano.

Además de proporcionar conocimientos detallados y experiencia aplicable, los expertos externos también ofrecen un punto de vista imparcial y novedoso sobre el proyecto. Esta objetividad es importante para la credibilidad de la planificación y el diseño del proyecto, y para mantener a los responsables de la toma de decisiones enfocados en la búsqueda de las mejores soluciones. Aunque para una revisión de pequeña escala puede bastar un único experto, en la mayoría de los métodos de optimización se requieren grupos de expertos externos para que el trabajo interdisciplinario en equipo y la resolución colectiva de problemas sean beneficiosos.

Si bien los expertos externos pueden ser de gran utilidad, es importante investigar sus credenciales y seleccionarlos cuidadosamente. En algunos países se requieren determinadas certificaciones para corroborar que los expertos poseen la experiencia y los conocimientos necesarios para ser de utilidad. Además, todo método de optimización de proyectos en el que participen expertos externos debe estar bien gestionado por el organismo de ejecución del proyecto para garantizar que los expertos hagan recomendaciones en consonancia con el alcance y los objetivos del proyecto. La optimización de proyectos con expertos externos siempre requiere la participación de personal de todos los niveles del propio organismo de ejecución del proyecto, incluidos los responsables de la toma de decisiones de alto nivel.

Se debe contar con un enfoque específico adaptado a los recursos de gestión del proyecto disponibles y a las circunstancias específicas de ejecución para garantizar que la revisión sea proporcional al tamaño y la complejidad del proyecto. Existen muchas maneras de obtener opiniones externas para la optimización de proyectos, pero se suelen usar cuatro enfoques: revisiones por pares, paneles de IV, estudios de la viabilidad de la construcción y revisiones de operabilidad. Estas revisiones no son vinculantes. Sus recomendaciones se implementan a discreción del organismo a cargo de la ejecución. Por consiguiente, se deben contemplar como una oportunidad para orientar la toma de decisiones y no como una herramienta a la que se le teme, como podría ser una auditoría técnica. Los organismos con experiencia sólida en el

desarrollo de megaproyectos ferroviarios urbanos suelen incluir estas revisiones en sus manuales de operación para la preparación de los proyectos.

Revisión por pares

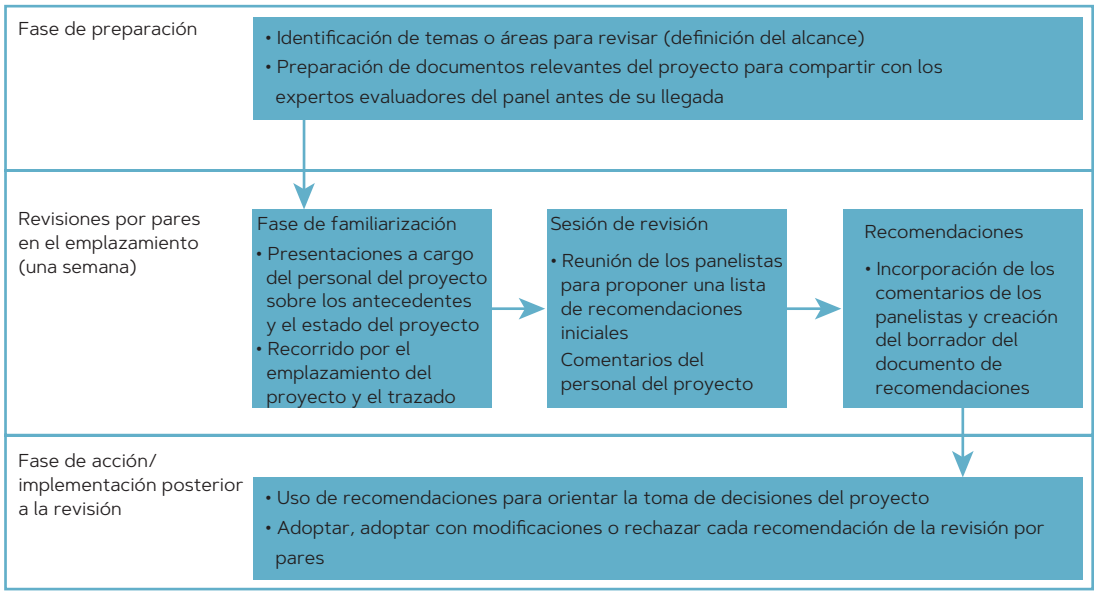
Una revisión por pares es un estudio de parte de un proyecto (por ejemplo, un plan, diseño, presupuesto o plazo de ejecución de la construcción) llevado a cabo por una persona externa o un panel de expertos experimentados de otros organismos de construcción y operación. Las revisiones por pares suelen enfocarse en la evaluación (más que en la mejora) de los planes o diseños de proyectos para determinar si cumplen con los códigos, los estándares y los objetivos de desempeño vigentes en la industria. Las revisiones por pares agregan una perspectiva externa para poder mejorar la funcionalidad de la planificación, el diseño, la construcción y la operación de un proyecto (FTA, 2012). Estas revisiones se pueden llevar a cabo en cualquier paso del proyecto, pero su valor e impacto pueden ser particularmente contundentes cuando se realizan en las primeras etapas del proyecto durante la planificación y diseño.

Los panelistas suelen ser expertos que han realizado ejercicios similares anteriormente. El tamaño del equipo y los conocimientos especializados de los expertos deben adaptarse a los objetivos, las necesidades y el alcance específicos de cada examen. Incluso cuando el promotor del proyecto y sus consultores tengan experiencia previa en proyectos ferroviarios urbanos, ponerse en contacto con expertos adicionales con experiencia en otros proyectos puede ayudar a optimizar un proyecto en lo que respecta a los costos de operación y de capital. Las revisiones por pares ofrecen a los promotores del proyecto una perspectiva independiente e imparcial del proyecto y de su estructura organizativa, enfoque técnico, políticas y procedimientos, y otros temas. Sin embargo, es posible que los expertos evaluadores externos puedan no entender bien el contexto local con la misma profundidad ni tengan el mismo interés en el proyecto que el equipo y los agentes interesados del proyecto. Los miembros del panel de revisiones por pares deben ser seleccionados considerando su experiencia, conocimientos y capacidad para resolver problemas; la posibilidad de transferir sus conocimientos y su experiencia al contexto local, y las referencias de otros organismos que ya usaron sus servicios en el pasado para este tipo de ejercicios. Las recomendaciones de una revisión por pares pueden ayudar al organismo patrocinador a fortalecer y mejorar el diseño del proyecto, minimizar los costos de capital y la duración de la construcción, reducir riesgos, y fortalecer la eficacia, la eficiencia y la seguridad de la operación. Sin embargo, el organismo de ejecución del proyecto debe manejar cuidadosamente el proceso de las revisiones

por pares para que los resultados sean compatibles con el contexto local. Antes de que se reúna un panel para realizar revisiones por pares, el equipo de proyecto define el alcance de la evaluación y prepara y comparte los materiales del proyecto con los miembros del panel para que estos se familiaricen con el contexto histórico general y el estado de avance del proyecto (como se ilustra en el gráfico 6.1). Posteriormente, mediante una visita de campo, los miembros del panel se reúnen en el lugar en el que se va a realizar la revisión. La duración de la revisión depende de su alcance pero, típicamente, es de aproximadamente una semana. La revisión comienza con presentaciones a cargo del equipo de proyecto, que se centran en temas específicos identificados por el organismo de ejecución. Estos temas deben ser adecuados para la etapa actual del proyecto (véase el cuadro 6.1); por ejemplo:

- Durante la planificación del proyecto, se pueden evaluar las alternativas y las decisiones generales en materia de trazado.
- Durante el diseño, se pueden revisar los ajustes específicos del trazado, el método de construcción y aspectos relacionados con el material rodante.

GRÁFICO 6.1. Fases del proceso de revisión por pares



- Durante la construcción, se pueden revisar la secuencia de las obras civiles, los hitos claves de ejecución, y los procedimientos de garantía calidad y control de calidad.

Se recomienda llevar a cabo una reunión en el emplazamiento para permitir que el panel recorra el trazado del proyecto y discuta el proyecto con personal clave a cargo de decisiones técnicas y de gestión. Esta visita puede ser útil para que los miembros del panel conozcan el área física y el contexto local del proyecto y puede ayudar a los panelistas externos a compartir conocimientos especializados con el equipo de proyecto.

Después de la etapa de familiarización del proceso de revisiones por pares, el panel se reúne para formular recomendaciones preliminares. Estas recomendaciones se comparten con el equipo técnico del proyecto para que formulen los primeros comentarios. Con esto, se realizan revisiones necesarias a las recomendaciones y estas se presentan al promotor del proyecto y al equipo técnico en una reunión informativa y de análisis. Una vez finalizada la reunión, se prepara un informe final de la revisión por pares para documentar las recomendaciones (las cuales no son vinculantes). Desde este punto, el promotor del proyecto y el equipo técnico pueden optar por adoptar cada una de las recomendaciones propuestas, adoptarlas con modificaciones o descartarlas.

Ingeniería de valor

La IV es un enfoque multidisciplinario formalizado y sistemático para optimizar el valor de la inversión en un proyecto. La IV busca alcanzar la funcionalidad necesaria al menor costo total durante toda la vida útil del proyecto en consonancia con los requisitos de desempeño, fiabilidad, mantenibilidad, seguridad vial y personal, y estética (FTA, 2016). El menor costo total incluye los costos de capital y de O&M durante el ciclo de vida del proyecto. En un estudio de IV formal se convoca un panel externo e independiente de expertos en la materia para identificar y analizar las funciones de cada elemento de un proyecto. A diferencia de las revisiones por pares, los estudios de IV se enfocan en mejorar activamente los planes o los diseños estructurales de los proyectos para optimizar su eficacia en función de los costos durante el ciclo de vida. En la mayoría de los casos, el organismo de ejecución del proyecto propone y coordina los estudios de IV durante la planificación o el diseño preliminar del proyecto. Sin embargo, en algunos contratos, se permite que los contratistas propongan la IV durante la licitación y la construcción y que compartan los beneficios con el organismo de ejecución del proyecto.

Un estudio de IV formal se realiza en las primeras etapas del proceso de diseño, antes de que se hayan incorporado las decisiones de mayor importancia

(FTA, 2012). El objetivo de una IV en las primeras etapas del ciclo de proyecto es abordar cuestiones de planificación y diseño que, si no se corrigen a tiempo, pueden suponer costosas modificaciones del diseño de los elementos del proyecto (como estructuras, sistemas y elementos arquitectónicos) y que podrían asimismo representar retrasos de ejecución. También ayuda a identificar opciones para minimizar la adquisición de terrenos o los reasentamientos y las reubicaciones de servicios públicos locales y las redes de servicios urbanos, que suelen ser elementos en la ruta crítica del proyecto (véase el capítulo 11). Debido a que el desarrollo de un proyecto ferroviario urbano es un proceso largo y complejo, se requiere comúnmente un enfoque en dos etapas de IV, con una primera etapa tras la planificación (estudio de alternativas) y otra durante el diseño.

La IV puede suponer una nueva tarea para organismos que no dispongan de mucha experiencia en la gestión y ejecución de megaproyectos ferroviarios urbanos. En estos casos, es prudente capacitar a parte del personal interno y a los responsables de la toma de decisiones del proyecto sobre los beneficios y procedimientos que implica un estudio de IV. Es aconsejable que el organismo invite a un instructor certificado de IV para capacitar al personal clave o, como alternativa, el organismo de ejecución puede enviar representantes a una conferencia sobre IV para que realicen un módulo introductorio estándar.

Tal como sucede con las revisiones por pares, el panel multidisciplinario de profesionales que participan en un estudio de IV no debe estar conformado por personal interno del proyecto, sino por expertos externos con experiencia en proyectos similares. El formato exacto de este panel se debe considerar según las realidades específicas de cada proyecto. Por lo general, incluye un líder de proyecto, un facilitador y cinco o seis especialistas técnicos de diferentes especialidades como, por ejemplo, la ingeniería eléctrica, mecánica, civil, estructural o de la construcción, la arquitectura, la estimación de costos, la gestión de la construcción y la operación y mantenimiento. Se recomienda que cuente con miembros con experiencia internacional, además de miembros con conocimientos del mercado laboral local y contratistas de la construcción.

El organismo de ejecución del proyecto también desempeña una función importante en el proceso de IV. Para optimizar el proceso, el equipo de proyecto debe coordinar la logística de los talleres, distribuir materiales y examinar las recomendaciones y los documentos técnicos preparados en el proceso de IV. También es fundamental fomentar la comprensión y el apoyo institucional entre el personal técnico y los principales responsables de la toma de decisiones al inicio del proceso, antes de la revisión externa, para que el equipo interno pueda trabajar con los expertos de manera creativa y realista. Al hacer que esta combinación de expertos externos y equipo interno participe en el

estudio de IV, no solo se garantiza que el proyecto se beneficie de un examen independiente, sino que también se fortalece la capacidad interna del equipo del organismo de ejecución, que será muy necesaria en el futuro.

Varias organizaciones han publicado metodologías recomendadas para la IV. Por ejemplo, SAVE International (2015) publicó un estándar para IV conocido como estándar de metodología de valor (*Value Methodology Standard*). Este estándar propone un proceso sistematizado de tres etapas y seis fases para la aplicación de los principios de la IV (véase el recuadro 6.3). La mayoría de los estándares de IV sugieren que el panel de IV se reúna en el emplazamiento durante tres a cinco días para realizar un taller intensivo (SAVE International, 2015). En la semana previa al taller, el equipo de proyecto debe obtener, copiar y distribuir documentos del proyecto relevantes para el panel. Esto permitirá que los miembros del panel se familiaricen con el proyecto con antelación al taller y que el personal del proyecto establezca el programa y gestione los resultados de las reuniones técnicas.

La semana del taller comienza con una fase de información durante la cual el personal del proyecto realiza una presentación y una visita al emplazamiento físico del proyecto. Se analizan las decisiones de diseño, evaluando el costo y el desempeño de cada uno de los elementos del proyecto. Posteriormente, durante la fase de análisis de funciones, el panel de IV identifica las funciones (objetivos) del proyecto y asigna recursos, como costo y duración, a estas funciones. En función del análisis, el panel de IV prioriza las funciones que ofrecen el mayor potencial de mejorar el valor. Después el panel de IV propone una lista de ideas individuales y genera una lluvia de ideas para determinar las funciones priorizadas. En este intercambio de ideas se debe aprovechar la creatividad y el pensamiento colaborativo del panel, y se deben usar como marco los parámetros de estudio y del proyecto (como presupuesto y desempeño requerido) establecidos por el equipo del proyecto. En la evaluación inicial de estas ideas, se desechan las menos prometedoras.

Las mejores ideas se desarrollan en mayor profundidad y se someten a un análisis de costos del ciclo de vida más detallado. Se llevan a cabo debates entre los panelistas y el personal del organismo de ejecución del proyecto para garantizar que las ideas sean válidas en el contexto local del proyecto y se verifican los supuestos subyacentes. Al final de la semana, el panel presenta sus conclusiones y alternativas para un examen preliminar a cargo del equipo de proyecto. Por lo general, a partir de este ejercicio se genera una lista final de 15 a 20 opciones de valor (además de paquetes sinérgicos de estas opciones) que se someten a la consideración de los responsables de la toma de decisiones. En esta lista final de opciones de valor generalmente se presentan ahorros de costos y mejoras en el desempeño durante el ciclo de vida que, en total, representan típicamente entre un 5 % y un 15 % de los costos estimados del proyecto.

RECUADRO 6.3.

Norma de metodología de valor de SAVE International

La norma de metodología de valor de SAVE International (SAVE International, 2015) describe el siguiente proceso de seis fases para la IV. El flujo lógico de este proceso de seis fases se ilustra en el gráfico B6.3.1.

1. F*ase de información*. El equipo de proyecto informa al panel de IV sobre las condiciones actuales del proyecto e identifica el alcance y los objetivos del estudio.

2. *Fase de análisis de funciones*. El panel define las funciones del proyecto utilizando un contexto de dos palabras: verbo activo + sustantivo cuantificable. El panel revisa estas funciones para determinar cuáles se deben mejorar, eliminar o crear para cumplir con los objetivos del proyecto.

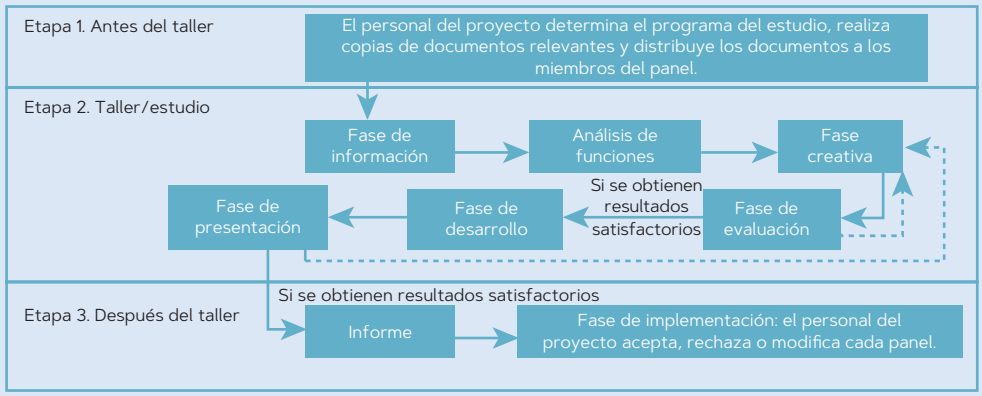
3. *Fase creativa*. El panel emplea técnicas creativas para identificar otras maneras de realizar las funciones del proyecto.

4. *Fase de evaluación*. El panel sigue un proceso de evaluación estructurado para seleccionar aquellas ideas que ofrezcan el mayor potencial de mejora del valor, al tiempo que se siguen ejecutando las funciones del proyecto de acuerdo con los requisitos de desempeño y dentro de los límites en materia de recursos.

5. *Fase de desarrollo*. El panel transforma las ideas seleccionadas en alternativas o propuestas con un nivel de documentación suficiente para permitir que los responsables de la toma de decisiones determinen si se debe implementar la alternativa.

6. *Fase de presentación*. El líder del panel elabora un informe o una presentación para informar las alternativas desarrolladas por el panel de IV y la oportunidad de mejora del valor asociada a cada una de ellas.

GRÁFICO B6.3.1. Ilustración del proceso de ingeniería de valor de seis fases



Fuente: Adaptado de SAVE International, 2015, p. 5.

Una vez finalizado el taller, se elabora un informe preliminar con un resumen de recomendaciones, entre las que se incluyen los costos estimados del ciclo de vida (capital y operación), el cronograma y otras consideraciones relevantes al proyecto. El equipo de proyecto revisa las recomendaciones y decide aceptar, rechazar, modificar o estudiar cada una de ellas en mayor profundidad. El panel prepara un informe final de IV teniendo en cuenta los comentarios que el equipo de proyecto hizo al informe preliminar. Este informe es una herramienta no vinculante pero valiosa para la toma de decisiones informada.

Algunos países, como los Estados Unidos, han institucionalizado estos métodos, específicamente en el contexto del desarrollo y la optimización de los proyectos ferroviarios urbanos. La Administración Federal de Transporte (FTA) de los Estados Unidos amplió el proceso de SAVE International en su *Construction Management Handbook* (FTA, 2012). El proceso detallado presentado por la FTA pone mayor énfasis en los esfuerzos anteriores al taller para que los responsables de la toma de decisiones participen del debate al inicio del proceso (investigación de la FTA, 2012, p. 55). En los Estados Unidos, la IV es obligatoria para grandes inversiones en transporte que superan los USD 100 millones y se recomienda para todos los proyectos cuyos costos estimados de construcción superen los USD 2 millones (FTA, 2012). Este requisito refleja que la IV puede permitir obtener importantes ahorros en los costos (véase el recuadro 6.4).

La realización de estudios de IV requiere tiempo y recursos, pero hay numerosas pruebas que sugieren que esta inversión se compensa holgadamente si se tiene en cuenta el aumento del conocimiento institucional y técnico, además de los posibles ahorros en los costos del proyecto. Aunque el costo de un ejercicio específico de IV depende del alcance del examen y de la cantidad de expertos (nacionales o internacionales) involucrados, los estudios de IV suelen costar entre USD 75 000 y USD 100 000, sin incluir algunos gastos adicionales por viajes, alojamiento y servicios de interpretación. Habida cuenta de que los países de ingreso medio y bajo cuentan con pocos conocimientos especializados a nivel local, es probable que los costos sean mayores que ese rango debido a la necesidad de contratar expertos internacionales. Si se aplica en las primeras etapas del proceso de desarrollo del proyecto, con la IV se suelen generar ahorros equivalentes a un rango de entre el 5 % y el 15 % del costo total estimado del proyecto. Para proyectos de pequeña escala, puede significar un retorno de la inversión con una proporción de 10:1. El retorno sobre la inversión puede ser incluso mayor para proyectos con mayor tamaño y presupuesto, como los proyectos ferroviarios urbanos (Kirk, 2016). Por consiguiente, para proyectos ferroviarios urbanos complejos y de gran escala (especialmente en países de ingreso medio y bajo donde se pueden obtener ahorros y un mayor nivel de conocimientos y capacidad institucional), la IV es una inversión de tiempo y recursos muy recomendable para la optimización del proyecto (véase el recuadro 6.5).

RECUADRO 6.4.

Uso de la ingeniería de valor para la optimización de un proyecto: paso a desnivel de Metra en Chicago

En este estudio de caso se ilustra un estudio exitoso de ingeniería de valor (IV). Un cruce a nivel de dos líneas ferroviarias (la línea del tren metropolitano del distrito Rock Island de Metra y la línea de carga de la empresa ferroviaria Norfolk Southern) constituía un gran cuello de botella en la red ferroviaria de Chicago, Illinois (Estados Unidos). Se elaboró un proyecto para eliminar el cruce a nivel creando un viaducto para la línea de tren metropolitano del distrito Rock Island de Metra para minimizar las demoras y las dificultades operativas tanto para Metra como para la empresa de ferrocarriles Norfolk Southern en esta ubicación. La construcción del proyecto, que duró 24 meses, comenzó en 2010 y tuvo un costo estimado de USD 117,5 millones, a precios de 2008. Con la aplicación cuidadosa de la metodología de IV, el panel de IV pudo identificar posibles ahorros en el costo de más de USD 10,4 millones (o el 10 % del costo estimado total para el proyecto), que se sometieron a la consideración de los responsables de la toma de decisiones. El organismo de ejecución del proyecto decidió adoptar opciones de valor que redujeron el costo total (capital, O&M y gestión) en un 4,3 % y obtuvo ideas adicionales para ahorrar costos.

Tal y como se recomienda en la metodología de SAVE, se convocó a un panel multidisciplinario de expertos, independiente del equipo de desarrollo del proyecto, para garantizar la máxima objetividad en la identificación de diseños alternativos. Las limitaciones establecidas para el estudio incluían el presupuesto del proyecto (financiamiento disponible), un período de construcción de dos años, la prohibición de cortes que afectaran los horarios del servicio ferroviario durante la construcción y el requisito de que el proyecto debía implementarse usando vías de circulación existentes.

Se realizó un taller de cinco días (40 horas) de duración en Chicago, del 22 al 26 de marzo de 2010. Siguiendo la metodología estándar de SAVE (recuadro 6.3), el taller comenzó con una fase de información que consistió en presentaciones a cargo del equipo de proyecto a fin de proporcionar información sobre los antecedentes del proyecto y una visita al emplazamiento. Durante la fase de análisis de funciones, el equipo revisó el objetivo del proyecto (mejorar el servicio para Amtrak, Metra y Norfolk Southern reduciendo las demoras causadas por conflictos en el cruce a nivel) y el diseño actual para elevar las vías de Metra sobre las de Norfolk Southern. El panel de IV pasó luego a la fase creativa del taller, donde se generaron 82 ideas para posibles modificaciones en el diseño. Basándose en la experiencia profesional del panel y en las opiniones del equipo de diseño del proyecto (durante la fase de evaluación), se seleccionaron 15 de esas ideas y se transformaron en "alternativas de valor", como se describe en el cuadro B6.4.1.

Durante la fase de presentación que tuvo lugar el 12 de abril de 2010, los panelistas de IV se reunieron con los principales responsables de la toma de decisiones del proyecto y el equipo técnico para analizar cada sugerencia, responder preguntas y ayudar al equipo de diseño a decidir qué cambios realizar en el proyecto. Los ahorros estimados de costos de capital y del ciclo de vida, aceptados inmediatamente por el equipo de diseño, ascendían a un total de USD 5,2 millones, con posibles ahorros adicionales de casi USD 5,3 millones, luego de un análisis más

(El recuadro continúa en la página siguiente).

RECUADRO 6.4.

Uso de la ingeniería de valor para la optimización de un proyecto: paso a desnivel de Metra en Chicago *(Continuación)*

profundo a cargo el equipo de diseño. De esta manera, la IV permitió identificar importantes ahorros de costos en el diseño del proyecto sin reducir su funcionalidad. Invertir en un estudio de IV como una forma de optimizar el proyecto generó retornos importantes para el organismo de ejecución del proyecto.

CUADRO B6.4.1. Lista selecta de alternativas de valor desarrolladas y posibles ahorros de costos

USD (a menos que se indique lo contrario)

ALTERNATIVA	AHORROS DE COSTOS INICIALES	AHORROS DE O&M	AHORROS DE COSTOS DEL CICLO DE VIDA	AHORROS DE TIEMPO (MESES)	DECISIÓN
Reutilizar el puente de la calle 66 en la calle 67	364,000	0	364,000	0	Rechazar
Reutilizar las vigas de la calle 60 en la calle 61	495,000	0	845,000	0	Rechazar
Usar un puente modulado para cruzar la autopista Dan Ryan	(10,599,000)	997,000	(9,602,000)	3	Rechazar
Usar muros de contención paralelos, gaviones, tablestacas o especificaciones de desempeño en lugar de un muro en el sitio	3,751,000	0	3,751,000	22	Aceptar, sin modificaciones
Usar muros de contención en lugar de un puente flotante	4,564,000	840,000	5,404,000	1	Rechazar
Usar una columna curva para evitar señalizar el recinto	2,020,000	0	2,020,000	0	Aceptar
Usar una subestructura de hormigón prefabricada y tubos de acero para el viaducto	5,255,000	0	5,255,000	3	Analizar en mayor profundidad

Fuente: SVS Inc. 2010, 1–8.
Nota: O&M = O&M= Operación y mantenimiento

RECUADRO 6.5.

Uso de la ingeniería de valor en un contexto de país de ingreso medio: línea 1 del metro, Bogotá, Colombia

La ciudad de Bogotá contrató estudios avanzados de ingeniería para una primera línea de metro con apoyo de un préstamo del Banco Mundial. La solución propuesta incluyó 27 kilómetros de línea de metro subterránea con 25 estaciones, 2 terminales, y 1 cochera y patio taller para trenes. El proyecto se diseñó con una capacidad máxima de 80 000 pasajeros por hora y sentido y una cantidad diaria de hasta 900 000 pasajeros. El proyecto tenía un gasto de capital anterior a la IV estimado en USD 7100 millones, incluido el material rodante, según los precios y el tipo de cambio de 2013. Una estimación de costos actualizada en el nivel de diseño final fue significativamente superior al cálculo original y al financiamiento total que se tenía previsto en partidas presupuestarias de los Gobiernos nacional y local. Esto ameritó un profundo debate sobre la asequibilidad del proyecto y la credibilidad de las estimaciones de costos.

En 2015, siguiendo las recomendaciones del Banco Mundial con respecto a la optimización de proyectos para megaproyectos, el patrocinador público (Financiera de Desarrollo Nacional FDN) contrató mediante un proceso de licitación a una empresa consultora para llevar a cabo un estudio de IV conforme a la metodología SAVE descrita en el recuadro 6.2. En el ejercicio de IV se generaron 49 posibles cambios para los diseños avanzados de ingeniería y se identificaron posibles ahorros en el costo de capital de aproximadamente el 24 % de la estimación de gastos totales de capital del proyecto (USD 1700 millones), además de importantes ahorros en los gastos de operación (SENER, 2015). De estas opciones, aproximadamente el 80 % de los ahorros en el costo de capital del proyecto podrían derivarse de tres amplios temas: reducción del número de estaciones, substitución de tramos subterráneos por tramos a nivel o elevados, y reducción de la longitud total de la línea. Después del taller de divulgación de IV con los principales responsables de la toma de decisiones, FDN implementó 27 de las propuestas, con posibles ahorros combinados del 8 % de los gastos totales de capital del proyecto (USD 554 millones). El estudio de IV también ayudó a identificar opciones específicas para minimizar las obligaciones fiscales.

A continuación se indican algunas de las conclusiones más importantes a las que se llegó a partir de la experiencia de IV con la línea 1 del metro de Bogotá:

- Debido a que fue el primer estudio de IV implementado en el sector de transporte en Colombia, un ingrediente clave para el éxito fue la inversión inicial de tiempo y esfuerzo para informar a las partes interesadas relevantes sobre la metodología de IV y su aplicabilidad en el proyecto. La empresa consultora de IV, el promotor del proyecto y el Banco Mundial se asociaron para fortalecer la capacidad y el apoyo de las partes interesadas antes de iniciar el taller.
- Los principales responsables de la toma de decisiones comprendieron que las opciones de IV propuestas por la empresa consultora no eran vinculantes y las adoptaron como oportunidad de añadir valor al proyecto. Un tema delicado fue la diferenciación entre un estudio de IV no vinculante y un

(El recuadro continúa en la página siguiente).

RECUADRO 6.5.

Uso de la ingeniería de valor en un contexto de país de ingreso medio: línea 1 del metro, Bogotá, Colombia *(Continuación)*

examen técnico o una auditoría (un enfoque más tradicional en el contexto colombiano en el cual el promotor del proyecto debería tomar las medidas correspondientes en función de las posibles conclusiones).

- El estudio de IV aumentó la credibilidad de los supuestos de ingeniería y los cálculos de costos del proyecto y fortaleció su percepción pública y política.

En Colombia, este estudio de IV fue un ejercicio fundamental que, más allá de identificar ahorros importantes en los costos de operación y de inversión para el proyecto, sentó las bases para la práctica de IV en lo que respecta a la preparación de proyectos de infraestructura de transporte. Otros proyectos de transporte público de alta capacidad, como la línea de metro ligero Medellín-Ayacucho, patrocinada por FDN, siguieron el ejemplo y utilizaron estudios de IV.

Si bien los estudios formales de IV suelen llevarse a cabo en las primeras etapas de la planificación o el diseño de un proyecto, posteriormente en el proceso de desarrollo del proyecto también surgen oportunidades para IV. Durante la licitación, la propuesta se puede estructurar de manera que permita a los contratistas revisar los diseños del proyecto y sugerir cambios para reducir el cronograma de ejecución o ahorrar costos a lo largo del ciclo de vida del sistema, sin dejar de cumplir con todas las especificaciones de ingeniería. Las recomendaciones de los contratistas, a diferencia de las hechas por un panel independiente de IV, pueden tener un sesgo a favor del ahorro de los costos iniciales en detrimento de los costos de operación o el desempeño del proyecto a largo plazo, por lo que el equipo de proyecto y los responsables de la toma de decisiones deben examinarlas con mayor cuidado. Sin embargo, si estos arreglos contractuales se gestionan cuidadosamente y las recomendaciones resultantes se analizan desde una perspectiva de los costos del ciclo de vida, aprovechar la competencia entre licitantes con amplia experiencia puede permitir obtener grandes beneficios.

Estudios de la viabilidad de la construcción

Los estudios de la viabilidad de la construcción de los documentos de diseño del proyecto permiten determinar si lo propuesto en los planos, las especificaciones técnicas y los documentos de licitación de la construcción se puede construir sin

grandes problemas. Estas revisiones permiten optimizar el proyecto mediante la identificación y eliminación temprana de las especificaciones que imposibilitan la construcción o la hacen poco viable. Son especialmente importantes en países de ingreso medio y bajo, donde es posible que el mercado de construcción no esté lo suficientemente desarrollado y que haya una escasa disponibilidad de materiales y mano de obra experimentada.

Los estudios de la viabilidad de la construcción son una parte integral del proceso de diseño interno y el análisis de valor realizado por el personal del proyecto. Además, el uso de un equipo independiente de técnicos con conocimientos en construcción de ferrocarriles urbanos y que trabajan habitualmente con contratistas relevantes es una incorporación importante al proceso de diseño. Los involucrados en estos estudios de la viabilidad de la construcción no deben participar de la licitación del proyecto, ya que esto podría darles una ventaja desleal en el proceso de licitación y representar un conflicto de intereses. Los participantes externos deben ser ingenieros con experiencia de campo que hayan trabajado estrechamente con contratistas y documentos de construcción durante las diversas etapas de construcción (incluidas la licitación, la construcción y el cierre), pero que no participarán en la licitación del proyecto. La calidad y la aplicabilidad de estas revisiones dependen de los expertos seleccionados y de la gestión del proceso; puede ser difícil identificar expertos externos cuya experiencia sea compatible con el contexto local y que no participarán de la licitación del proyecto final. Por lo tanto, el organismo de ejecución del proyecto debe invertir los recursos adecuados para reclutar a estos expertos y les debe brindar información sobre las características únicas de la región metropolitana y el proyecto ferroviario urbano.

En la etapa de diseño detallado del proyecto, los estudios de la viabilidad de la construcción se realizan como parte de la evaluación del diseño. En los estudios de la viabilidad de la construcción se analizan la disponibilidad y la adecuación de los materiales de construcción y la capacidad de los recursos humanos disponibles (FTA, 2016). Los estudios de la viabilidad de la construcción permiten garantizar que los diseños se puedan construir empleando métodos, materiales y maquinaria comunes a la industria de la construcción a nivel local o mundial, con el objetivo de generar un ambiente competitivo para que las fuerzas del mercado puedan mantener los costos bajo control. Los estudios de la viabilidad de la construcción son particularmente beneficiosos dada la naturaleza compleja de la construcción de ferrocarriles urbanos, sobre todo cuando se deben excavar túneles en un entorno urbano (véase el capítulo 11). Los expertos con experiencia en la construcción de estaciones de ferrocarriles urbanos y subterráneas pueden brindar valiosas aportaciones para optimizar la metodología de construcción para cada caso en particular.

Con los estudios de la viabilidad de la construcción, se pueden recomendar modificaciones de diseño o sugerir métodos alternativos de contratación para optimizar la construcción o mitigar los riesgos, y, por consiguiente, generar ahorros para el proyecto. Las recomendaciones que surjan de esos estudios se pueden desarrollar, refinar e incluir en los documentos de licitación. El proceso puede resultar similar al de las revisiones por pares o estudios de IV, con fases de información, análisis, evaluación y presentación.

Si bien no se deben emplear contratistas que puedan llegar a ser posibles licitantes, los estudios de la viabilidad de la construcción y otras propuestas de optimización de proyectos se pueden usar eficazmente como parte del proceso de licitación. Los documentos de licitación se pueden estructurar para permitir la inclusión de estrategias alternativas de diseño o construcción que permitan reducir los costos de construcción, acelerar la ejecución del proyecto y mejorar la funcionalidad a corto y a largo plazo de una parte del proyecto sin aumentar el presupuesto. Los contratistas licitantes a veces pueden estar incluso más capacitados para analizar problemas inherentes a la viabilidad de la construcción y para proponer métodos de construcción alternativos que el propio equipo de diseño de proyecto. Los diseños y planos que se usan para presentar ofertas para proyectos ferroviarios, especialmente en países de ingreso medio y bajo que no cuentan con una sólida industria de la construcción nacional, deben incorporar la mayor flexibilidad posible a fin de permitir que el adjudicatario pueda proponer soluciones de diseño detallado, siempre que dichas soluciones se ajusten al presupuesto de inversión y al presupuesto de O&M, los criterios de diseño y los estándares de desempeño del proyecto. Si se aplica adecuadamente, este enfoque puede ayudar a lograr importantes reducciones en el precio de licitación, sin comprometer la calidad de las instalaciones construidas. Entre los contratistas y sus subcontratistas especializados también pueden existir mecanismos de licitación similares que favorezcan la generación de propuestas de optimización de proyectos, fomentando la innovación y la optimización de los proyectos para cumplir con objetivos específicos de ingeniería.

Sin embargo, el organismo de ejecución del proyecto debe actuar con cautela a la hora de estructurar incentivos y realizar tareas de supervisión para que las optimizaciones propuestas no sean simples maneras de recortar gastos y costos en la ejecución de obras civiles. El organismo de ejecución del proyecto (con apoyo de un "operador en la sombra", si estuviera disponible) debe examinar y aprobar todas las sugerencias del contratista a fin de garantizar que las modificaciones al diseño no comprometan la operatividad a largo plazo del sistema. En los contratos se debe además especificar que los ahorros de costos resultantes de las optimizaciones propuestas por el contratista se

compartirán con el organismo de ejecución del proyecto. Las oportunidades para optimizar el diseño y la construcción deben considerarse para que no impacten negativamente en el costo del ciclo de vida o el desempeño del proyecto. Para ello, el organismo de ejecución del proyecto y el contratista deben trabajar conjuntamente en calidad de asociados que se benefician mutuamente.

Si bien el organismo de ejecución del proyecto debe invertir tiempo y recursos para establecer, gestionar y aprobar los estudios de viabilidad de la construcción, estos pueden ser muy valiosos para los proyectos ferroviarios urbanos complejos. Por lo tanto, durante el diseño y la construcción, se deben obtener comentarios de los contratistas, ya sea por medios formales o informales, con respecto a estrategias para reducir los costos del proyecto o mejorar los materiales o los métodos de construcción, a fin de optimizar el proyecto.

Exámenes de operatividad

Los exámenes de operabilidad se llevan a cabo en las etapas de diseño preliminar y detallado del proyecto. En estos exámenes intervienen un "operador en la sombra" u otros especialistas externos en operación ferroviaria que pueden ayudar a identificar maneras de maximizar la flexibilidad operativa a largo plazo y a reducir los costos de operación y mantenimiento de la vida útil de los activos. Los exámenes de operabilidad son complementos importantes de los estudios de viabilidad constructiva, ya que garantizan que las opciones de diseño y de construcción seleccionadas para las obras civiles también sean compatibles con la O&M a largo plazo del sistema. Tal como sucede con los estudios de la viabilidad de la construcción, la calidad de los resultados depende de la selección de los evaluadores y de la gestión cuidadosa del proceso por parte del personal del organismo de ejecución del proyecto.

Estrategias alternativas de contratación

Las iniciativas para optimizar un proyecto complejo deben aplicarse también a la metodología de licitación y contratación. Las decisiones asociadas con el método de adquisiciones constituyen un aspecto muy importante en la optimización de proyectos. Por ello, el organismo de ejecución del proyecto debe considerar cuidadosamente las consecuencias que tienen la estructuración y la agrupación de contratos en los costos generales del proyecto (véase el capítulo 8).

Sin ser una panacea, varias estrategias de adquisiciones ofrecen el potencial para incluir conocimientos especializados externos en el proceso de

ejecución que pueden suponer considerables beneficios para el proyecto. El enfoque que tradicionalmente se aplica en la ejecución de proyectos es un proceso de diseño, licitación y construcción en el cual se contrata una empresa de ingeniería para preparar los diseños, las especificaciones y las estimaciones de costos y cantidades de un proyecto. Una vez finalizados, los documentos de ingeniería del proyecto se usan para solicitar la presentación de ofertas para la construcción. En función de esto, se selecciona la mejor oferta. Este proceso de ejecución de proyectos genera una desconexión entre el diseño y la construcción del proyecto, ya que los equipos que se usan en cada una de estas etapas son diferentes. Incluso en los casos en los que el organismo contratante asume la función de coordinación entre los dos equipos, este mecanismo proporciona menos oportunidades de realizar un análisis de valor conjunto y un examen colaborativo entre los profesionales a cargo del diseño y la construcción sin la implementación de herramientas formales para la optimización de proyectos. Aunque sigue siendo el método preferido para ejecutar proyectos de transporte público de alta capacidad, en muchos proyectos recientes se han usado métodos alternativos. En el capítulo 8 se analizan las ventajas y desventajas de diversos métodos alternativos de ejecución.

En esta sección se presentan las posibilidades para la optimización adicional de proyectos que ofrecen dos de estos métodos alternativos de ejecución: diseño y construcción, y APP. El análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de ejecución depende mucho del contexto local y en él se deben tener en cuenta, por ejemplo, el estado de avance del proyecto, la estructura de la industria local de ingeniería y construcción, el interés y la probabilidad de participación de licitantes internacionales, la capacidad de gestión del organismo de ejecución del proyecto y los riesgos de una mayor interferencia política en un tipo de proceso que en otro.

Diseño y construcción

En un método de diseño y construcción, un único actor se ocupa del diseño y la construcción en el marco de un solo contrato. El método de ejecución de diseño y construcción tiene varias ventajas respecto del método tradicional de diseño, licitación y construcción que pueden ayudar a optimizar el cronograma de ejecución y el costo del proyecto. Una de las mayores ventajas es que las etapas de diseño y construcción del proyecto se superponen, lo que acelera el cronograma de desarrollo del proyecto. Además, la integración de los equipos de diseño y construcción permite incorporar eficiencias de construcción de manera más fácil en el diseño del proyecto a través del uso constante de revisiones de viabilidad constructiva y de otra índole. Sin embargo, es importante garantizar que este énfasis en la optimización de la viabilidad constructiva del

proyecto no comprometa la operatividad y la mantenibilidad a largo plazo del sistema.

La modalidad de contratación de diseño y construcción tiene algunas desventajas, entre las que se incluyen la reducción del nivel inherente de supervisión y control entre los equipos de diseño y construcción; en el método de diseño y construcción, el equipo de diseño ya no es independiente del contratista de construcción. Además, el método de diseño y construcción puede reducir la competencia por los servicios de diseño y construcción al favorecer a las grandes empresas de ingeniería y construcción nacionales e internacionales porque las empresas locales o regionales más pequeñas y con menos experiencia no pueden llevar a cabo los contratos implicados debido a su gran magnitud. Asimismo, si el organismo de ejecución del proyecto gestiona el proceso de manera deficiente, la falta de control de los incentivos para que el contratista optimice sus propios costos iniciales puede afectar seriamente el valor del ciclo de vida del proyecto.

Se debe realizar un análisis específico del proyecto antes de seleccionar una modalidad de adquisiciones. Las posibles ventajas del proceso de diseño y construcción para la optimización de un proyecto deben sopesarse con las desventajas. Al igual que con el método de adquisición, el método de diseño y construcción debe estar bien gestionado. Habida cuenta de la magnitud de algunos equipos internacionales de diseño y construcción y su objetivo lucrativo, el organismo de ejecución del proyecto debe supervisar la ejecución y optimización de proyectos ferroviarios urbanos complejos de manera contundente y activa. Por consiguiente, el método de diseño y construcción debe seleccionarse y ejecutarse con precaución, y los organismos de ejecución de los proyectos deben estar preparados para gestionar el proceso activamente. Para los organismos de ejecución de proyectos más experimentados que desean ejercer un mayor control sobre el diseño y la construcción del proyecto, existen diversas soluciones híbridas, además del método de diseño y construcción completo; con estas, el organismo de ejecución del proyecto brinda cierto nivel de diseño esquemático y solicita a los licitantes que compitan proporcionando ofertas de diseño y construcción detalladas.

Asociaciones público-privadas

Las asociaciones público-privadas (APP) son otro tipo de adquisiciones que pueden resultar adecuadas en determinadas circunstancias. El método de APP puede permitir que el sector público aproveche los conocimientos especializados, las eficiencias y los recursos financieros del sector privado para la ejecución de instalaciones y servicios tradicionalmente adquiridos y provistos por el sector público (véase el capítulo 9).

En el caso de los mecanismos de APP que se extienden hasta la etapa de operación del proyecto, el equipo de APP tiene un incentivo para optimizar el proyecto durante las etapas de construcción y operación. Tal como sucede con el de diseño y construcción, este método no es una panacea; se deben implementar incentivos y garantías adecuados como parte del contrato para garantizar que el socio privado maximice los beneficios para los usuarios del sistema y el público en general junto con su ganancia. Se debe mantener una supervisión eficaz del socio privado durante la vigencia del mecanismo, para lo cual se debe fortalecer la capacidad del propio organismo de ejecución del proyecto.

Los mecanismos de APP también tienen algunas desventajas. El trámite de las APP demora mucho más que el de los contratos regulares, por lo que el uso de este método se debe considerar cuidadosamente teniendo en cuenta el cronograma de ejecución del proyecto. Además, mientras más riesgos y responsabilidades se transfieran al socio privado, menor control tendrá el organismo de ejecución del proyecto sobre el diseño, la construcción y posiblemente la operación del sistema, y mayores serán las primas que se pagarán al socio por asumir esos riesgos (véase el capítulo 9).

Conclusiones y recomendaciones

Habida cuenta de la magnitud, la complejidad y la incertidumbre de los proyectos ferroviarios urbanos, sus altos costos de operación y de capital, y la gran variedad de impactos que causan en el tejido urbano, la economía y la sociedad, la optimización debe ser siempre un componente integral de su desarrollo. La optimización de proyectos puede ayudar a equilibrar los costos de inversión inicial con los ahorros durante la operación del sistema, maximizar los beneficios y mitigar los riesgos de estos megaproyectos. En este capítulo se describieron en detalle tres herramientas básicas de optimización de proyectos que el personal interno debe emplear constantemente a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto: análisis de valor, análisis de riesgos y análisis de costos del ciclo de vida. Estos esfuerzos internos se complementan con la participación periódica de expertos externos en revisiones formales por pares, ingeniería de valor, estudios de la viabilidad de la construcción y exámenes de operabilidad (generalmente durante el diseño o los pasos previos a la licitación de la elaboración del proyecto). Además, se analizaron dos métodos alternativos de ejecución de proyectos que, si se implementan adecuadamente, pueden generar una mayor optimización.

Los enfoques de optimización específicos que utiliza un organismo de ejecución del proyecto se deben adaptar a los recursos de gestión disponibles y

las circunstancias locales para garantizar que la evaluación sea adecuada para la escala y la complejidad del proyecto en cuestión. Aunque muchos de estos métodos de optimización de proyectos incluyen el uso de expertos externos, todos requieren la participación activa y el apoyo de los principales responsables de la toma de decisiones y el equipo técnico del propio organismo de ejecución del proyecto. Los principios de la optimización de proyectos se deben aplicar a todos los proyectos y la optimización debe ser una meta fundamental en la elaboración de un proyecto. Las diferentes metodologías tienen diferentes niveles de sofisticación y formalidad, pero todos los métodos ofrecen un buen retorno sobre la inversión (véase el cuadro 6.2).

La optimización de proyectos permite obtener mayores rendimientos cuando se aplica en las primeras etapas y como un proceso continuo en la elaboración del proyecto. Cuanto antes se utilicen las herramientas de optimización de proyectos, mayores serán las posibilidades de generar mayores ahorros y valor. Se debe hacer énfasis en la optimización durante la planificación y el diseño del proyecto, pues es cuando la implementación de cambios es menos costosa y fácil de implementar. Las técnicas como el análisis de valor, riesgos y costos de ciclo de vida se deben aplicar en todos los proyectos que el organismo de ejecución lleve a cabo como un proceso continuo que comienza en las primeras fases de planificación. Estos esfuerzos internos continuos se deben complementar con estudios y evaluaciones periódicas en las que participen expertos externos durante hitos muy importantes en las etapas iniciales de la planificación y el diseño. Sin embargo, en todas las etapas del desarrollo del proyecto surgen oportunidades para la optimización; los componentes del proyecto que son el foco de la optimización y los métodos usados evolucionan

CUADRO 6.2. Resumen de metodologías de optimización

TIPO	A CARGO DE	SE REQUIEREN RECURSOS ADICIONALES DEL PROYECTO	CUÁNDO (DURANTE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO)
Análisis de valor	Personal del proyecto	No	Continuo
Análisis de riesgos	Personal del proyecto	No	Continuo
Análisis de costos del ciclo de vida	Personal del proyecto	No	Planificación y diseño
Revisión por pares	Panel o persona externos	Pocos	Planificación y diseño
Ingeniería de valor	Panel externo	Moderados	Diseño
Estudios de la viabilidad de la construcción	Panel externo	Moderados	Diseño

a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto. La optimización de proyectos es un proceso más que una tarea que se realiza una única vez.

Se requiere el apoyo de las principales partes interesadas y el equipo de proyecto para aprovechar adecuadamente el conocimiento y la experiencia de los expertos externos. Además de ser fundamentales para lograr mayores ahorros, el apoyo inicial de las principales partes interesadas y la participación plena del personal técnico y de gestión del organismo de ejecución del proyecto también influyen en el impacto general de todas las herramientas de optimización. Los responsables de la toma de decisiones deben conocer la importancia de las metodologías de optimización de proyectos en lo que respecta al fortalecimiento de la capacidad interna y los conocimientos de la institución, y a la identificación de oportunidades para reducir costos, ahorrar tiempo, aumentar el valor del proyecto y reducir sus riesgos. El equipo interno debe llevar a cabo su propio análisis de valor a lo largo de la elaboración del proyecto. Los esfuerzos del equipo de proyecto se deben complementar con la participación de expertos externos a través de revisiones por pares, ingeniería de valor, estudios de la viabilidad de la construcción y exámenes de operabilidad. Estos expertos externos no solo ofrecen un punto de vista imparcial y novedoso, sino que también aportan una base de conocimientos más amplia que la de muchos organismos de ejecución de proyectos menos experimentados. Incluir la evaluación externa para complementar el análisis de valor interno incentiva aún más al equipo del proyecto a ser creativo y flexible en el diseño, aumentar la eficiencia del cronograma, bajar los costos y mitigar los riesgos.

Las recomendaciones de optimización de proyectos no son vinculantes. La optimización del proyecto representa una oportunidad y no es un ejercicio de auditoría técnica. Cada método de optimización produce recomendaciones no vinculantes que pueden constituir una valiosa fuente de información para los responsables de la toma de decisiones. Los responsables de la toma de decisiones del organismo de ejecución del proyecto revisan todas las recomendaciones (del equipo interno y de los expertos externos) y deciden aceptar, rechazar, modificar o analizar cada propuesta en mayor profundidad. Por lo tanto, la optimización de proyectos es una oportunidad para identificar posibles maneras de incrementar el valor del proyecto y considerar las compensaciones y la factibilidad de estas maneras, en consonancia con el contexto político, institucional y financiero. El conocimiento obtenido a lo largo de este proceso hace que la inversión de tiempo y esfuerzo sea valiosa, incluso si solo se implementan algunas de las recomendaciones identificadas.

La optimización de proyectos genera credibilidad en el proyecto y es particularmente importante cuando los recursos son limitados. Establecer un proceso formal de optimización de proyectos puede permitir que los

Gobiernos nacionales, las entidades de financiamiento y otros promotores del proyecto tengan más confianza en la eficacia en función de los costos del diseño del proyecto. Para las administraciones políticas cuyos plazos son más cortos que el período típico de ejecución de un megaproyecto ferroviario urbano, la optimización de proyectos puede permitirles aplicar un enfoque en fases para la ejecución mediante el cual pueden cumplir con los hitos claves del proyecto y aprovechar la estructura de la economía política. Cuando los recursos son limitados, la ejecución en fases, con la incorporación de un nivel adecuado de análisis y planificación de las opciones reales, puede permitir a los organismos de ejecución reducir los costos de inversión inicial y acelerar la construcción de una parte inicial independiente y autosuficiente del proyecto sin sacrificar su viabilidad a largo plazo.

Algunos métodos alternativos de ejecución de proyectos pueden brindar mayores oportunidades y flexibilidad para la optimización. Si bien los métodos para la optimización de proyectos pueden aplicarse a cualquier proyecto independientemente de la estrategia de adquisiciones y el método de ejecución que se utilicen, algunos métodos alternativos de ejecución (como el de diseño y construcción o las APP) pueden llegar a ofrecer mayores oportunidades y flexibilidad para la optimización a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Si se estructuran adecuadamente, estos métodos pueden acelerar el cronograma de ejecución del proyecto y fomentar la colaboración entre los equipos de diseño, construcción y O&M, lo que genera una mayor optimización. Sin embargo, antes de elegir un método de ejecución para el proyecto, se deben llevar a cabo cuidadosos análisis de las ventajas y desventajas (véase el capítulo 8).

Nota

Los autores desean agradecer a Stephen Kirk, de SAVE International, y a Dan Turk, de la Administración Federal de Transporte (FTA) de los Estados Unidos, por sus aportes de contenido, y a los revisores Gerald Ollivier y Navaid Qureshi, del Grupo Banco Mundial, a Juan Antonio Márquez Picón, de Metro de Madrid, y a Yves Amsler y Dionisio González, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por sus críticas constructivas durante el desarrollo de este capítulo.

Bibliografía

Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE) (2014), *Maximizing the Value of Investments Using Life Cycle Cost Analysis*, Eno Center for Transportation, Washington, DC, https://www.enotrans.org/etl-material/maximizing-the-value-of-investments-using-life-cycle-cost-analysis.

Behr, C. (2016), "Building Better Infrastructure: Managing Risks to Project Implementation and Mitigation Measures during Design and Construction", presentación en *Latin America and Caribbean Inclusive Growth and Sustainability Series*, Banco Mundial, Washington, DC, 21 de junio.

De Neufville, Richard (2003), "Real Options: Dealing with Uncertainty in Systems Planning and Design", en *Evaluación integrada* 4 (1): pp. 26-34, https://web.mit.edu/ardent/www/Real_opts_papers/delftpaperpublication.pdf.

Administración Federal de Transporte (FTA) (2016), *Project and Construction Management Guidelines*, Washington, DC: FTA, https://www.transit.dot.gov/funding/procurement/fta-project-and-construction-management-guidelines-2016.

Investigación de la Administración Federal de Transporte (FTA) (2012), *Construction Project Management Handbook*, Informe 0015, preparado por Gannett Fleming, Inc. Washington, DC: FTA, marzo, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No._0015.pdf

Kirk, Stephen (2014), "Value Methodology: Value Engineering, Value Analysis", presentado en Banco Mundial, Washington, DC.

——. (2016), entrevista telefónica con Stephen Kirk, vicepresidente de Educación, SAVE International, y presidente de Value Planners, con Ramón Muñoz-Raskin, Oscar Rodríguez Fuertes y Joanna Moody, 22 de junio.

Mun, Johnathan (2006), *Real Options Analysis versus Traditional DCF Valuation in Layman's Terms*, informe técnico, análisis de opciones reales.

SAVE International (2015), *Value Methodology Standard*, SAVE International, Mount Royal, NJ.

——. (2016), *About Value Engineering?*, SAVE International, Mount Royal, NJ, http://www.value-eng.org/page/AboutVE.

SENER (Ingeniería y Sistemas Colombia S.A.S) (2015), *Proyecto estructuración integral de la primera línea del Metro Bogotá: Informe final de ingeniería de valor*. Bogotá, Colombia: SENER, https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/documentos/Informe%20Final%20Ingenier%23U00eda%20de%20Valor.pdf.

SVS (Strategic Value Solutions, Inc.) (2010), *Value Engineering Study: Metra Railroad Improvement Projects at 63rd and State Streets*, informe interno, SVS, Inc., Chicago, IL, junio.

Lecturas adicionales

Pettee, Stephen R. (2012), *Constructability Reviews—An Introduction*, preparado para Construction Management Association of America, McLean, VA, 6 de junio, https://www.cmaanet.org/sites/default/files/resource/Constructiblity%20Reviews.pdf

SAVE International (2008), *Value Methodology: A Pocket Guide to Reduce Cost and Improve Value through Function Analysis*, Methuen, MA: Goal/QPC Publishers.

4016
Via Quatro
GrupoCCR

7 GESTIÓN DE RIESGOS

Daniel Pulido y Ramiro Alberto Ríos

Si bien todos los proyectos de infraestructuras implican riesgos, se considera que los proyectos ferroviarios urbanos son especialmente riesgosos. En aproximadamente el 75 % de los proyectos de ese tipo, los costos finales son al menos un 33 % más elevados y la cantidad inicial de pasajeros es, en promedio, un 51 % más baja de lo estimado (Flyvbjerg, 2007). En todas las etapas del proceso de desarrollo de proyectos surgen riesgos. En la prisa por avanzar con los proyectos, los organismos de ejecución no siempre identifican todos los riesgos (por lo general, se concentran solo en los riesgos de la fase de construcción) o no evalúan adecuadamente su probabilidad e impacto. La formulación de procedimientos sólidos de gestión de riesgos es fundamental para los organismos de ejecución de proyectos que emprenden proyectos ferroviarios urbanos.

La gestión de riesgos implica identificar, evaluar y luego abordar los riesgos (El Tesoro de Su Majestad, 2013). Los riesgos se abordan mediante el diseño y la ejecución de medidas destinadas a disminuir la probabilidad y la gravedad de los eventos negativos, entre las que se incluyen la transferencia o la asignación de riesgos a un tercero, la aceptación y la retención de los riesgos, o incluso el rechazo (o la redefinición) de un proyecto para reducir los riesgos. En este capítulo se ofrecen orientaciones para los responsables de la toma de decisiones de proyectos acerca de cómo gestionar mejor los posibles eventos no deseados que pueden afectar negativamente la ejecución de

Fotografía: Trenes de ViaQuatro en la línea 4 del metro de São Paulo, 2010.
Fuente: Milton Jung a través de Flickr (CC BY 2.0).

proyectos y reducir sus beneficios socioeconómicos. Además, se definen los fundamentos y la dinámica del proceso de gestión de riesgos para los proyectos ferroviarios urbanos y se destacan algunos de los riesgos que enfrentan con mayor frecuencia.

Las características propias de los megaproyectos ferroviarios urbanos generan mayores niveles de riesgos (véase el cuadro 7.1). En general, los proyectos de mayor envergadura con períodos de ejecución más largos son

CUADRO 7.1. Características clave que pueden influir en los niveles de riesgo para los proyectos ferroviarios urbanos

CARACTERÍSTICA DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
Magnitud y alcance	Dificultad para construir y mantener el consenso o el compromiso político y para obtener los fondos necesarios para proyectos grandes que implican inversiones de miles de millones de USD y que pueden estar sujetos a ajustes en el alcance y a incrementos en el costo.
Duración	Dificultad para mantener el compromiso político y el financiamiento para proyectos a largo plazo con períodos de construcción prolongados que pueden estar sujetos a demoras en la finalización y a incrementos en el costo.
Ubicación	Cuando se lleva a cabo por primera vez (en un país o una jurisdicción), es posible que el entorno regulatorio sea incierto o no esté completamente desarrollado. Incertidumbre en las condiciones geológicas, interferencia con redes de servicios públicos existentes, impacto negativo en los edificios y los hallazgos arqueológicos, especialmente en proyectos subterráneos.
Interfaces Interna	Alto grado de integración y coordinación entre entidades públicas pertinentes (es decir, Gobierno nacional y Gobiernos subnacionales), y entre estas entidades y varias empresas privadas (es decir, contratistas del proyecto y proveedores de equipos).
Externa	Interconexión con las modalidades existentes de transporte público y las propiedades o instalaciones vecinas.
Tecnología	Puede implicar el uso de nuevas tecnologías o requerir la adaptación o actualización de tecnologías obsoletas cuando se trata de la ampliación de un proyecto con sistemas existentes para los cuales la experiencia interna o del país puede ser limitada.
Financiamiento	Grandes costos y recuperación limitada de costos, presupuestos fijos y fuentes limitadas de fondos, ingresos tarifarios insuficientes o inciertos.
Mercado	Disponibilidad limitada de contratistas cualificados y conocimientos especializados en ingeniería en el país, y limitaciones de la cadena de suministro.
Ejecución	Complejidad en el proceso de adquisiciones y calendarios inflexibles.
Gestión	Responsables de la toma de decisiones sin poder real para tomar decisiones y falta de coordinación entre ellos.

Fuente: Adaptado de Smith, 2015.

más riesgosos que los proyectos más pequeños que se ejecutan en menos tiempo. Estos proyectos pueden abarcar el período de dos Gobiernos diferentes, que pueden tener puntos de vista distintos. Por ejemplo, es posible que un Gobierno entrante, que aduce dificultades económicas, no considere como prioridad los compromisos presupuestarios existentes de un proyecto que se elaboró durante una administración anterior. El costo de la mano de obra y materiales puede aumentar durante la ejecución del proyecto debido al aumento de su demanda a nivel mundial (como sucedió durante la primera década del siglo XXI debido al alto consumo en China).

En este capítulo se analizan las maneras de gestionar la manifestación financiera de los riesgos. Además de los riesgos financieros, los organismos de ejecución están expuestos a otros riesgos e incertidumbres durante el ciclo de vida del proyecto que no necesariamente generan un impacto financiero directo, pero que afectarán la imagen y la viabilidad a largo plazo del servicio de transporte ferroviario urbano. Si bien no se analizan en detalle en este capítulo, entre los ejemplos de estos riesgos no financieros se incluyen las demoras en la puesta en servicio, riesgos para la reputación, o una mala calidad del servicio que no es debidamente compensada con penalizaciones o reducciones de los pagos (BAsD y otros, 2016). Gestionar estos riesgos implica manejar las percepciones del público y las comunicaciones, que también son fundamentales para el éxito del proyecto (BAsD y otros, 2016).

En este capítulo se ofrecen orientaciones sobre la manera en que los organismos de ejecución de proyectos pueden formular una estrategia de gestión de riesgos, centrándose en las tareas y los pasos clave. También se describen los principales riesgos relacionados con la ejecución de un proyecto ferroviario urbano y se incluyen pautas sobre cómo mitigar esos riesgos[1]. Por último, se presenta la asignación de riesgos en proyectos de asociaciones público-privadas (APP), un tema que se analiza en mayor profundidad en el capítulo 9. Las grandes constructoras privadas y los operadores de infraestructura importantes cuentan con procesos sofisticados de gestión de riesgos y saben cómo conciliar los riesgos (mayores costos) y las oportunidades (mayores ganancias). Para que los organismos públicos de ejecución puedan gestionar adecuadamente los contratos de APP, deben desarrollar una capacidad similar con respecto a la evaluación de riesgos.[2]

Gestión de riesgos en proyectos ferroviarios urbanos

Todas las características mencionadas en el cuadro 7.1 contribuyen al nivel de riesgo al que está expuesto un proyecto ferroviario urbano. Para gestionar de manera eficaz una variedad tan amplia de características complejas, los

CUADRO 7.2. Seis pasos esenciales para desarrollar una estrategia de gestión de riesgos

PASO DE LA GESTIÓN DE RIESGOS	DESCRIPCIÓN
1. Identificación	Identificar y describir todos los riesgos posibles y comprender su impacto.
2. Evaluación	Analizar el posible impacto de los riesgos y categorizarlos utilizando métodos cualitativos y cuantitativos[a].
3. Mitigación	Diseñar medidas para reducir la probabilidad y el impacto de los riesgos en caso de materializarse (o para reducir el riesgo percibido mediante la reducción de la incertidumbre).
4. Asignación	Asignar las consecuencias financieras a la parte interesada que está mejor posicionada para hacerles frente.
5. Tratamiento	Abordar los riesgos aceptados o retenidos con diferentes estrategias (como autoseguros, fondos de contingencia y seguros) o simplemente reaccionar ante las consecuencias.
6. Seguimiento	Supervisar el riesgo a fin de estar preparado para actuar de inmediato y de manera eficaz, establecer medidas concretas de mitigación para riesgos que registren un aumento de probabilidad, volver a evaluar los riesgos, identificar o incorporar nuevos riesgos, cambiar el orden de prioridades y actualizar permanentemente los sistemas de control de riesgos y las estrategias conforme a los cambios en el contexto y la evolución del proyecto.

Fuentes: Adaptado de Smith, 2015; Banco Mundial, 2014.
a. Varios métodos analíticos usan modelos matemáticos complejos e incluso programas informáticos especializados para cuantificar los riesgos. Estos métodos no están contemplados en este manual.

organismos de ejecución de proyectos deben considerar el desarrollo de una estrategia de gestión de riesgos que incluya seis pasos esenciales: 1) identificación, 2) evaluación, 3) mitigación, 4) asignación, 5) tratamiento de los riesgos retenidos y 6) seguimiento. En el cuadro 7.2, se describe en detalle cada uno de estos pasos. Es fundamental desarrollar una estrategia de gestión de riesgos al inicio de la etapa de formulación del proyecto y actualizarla durante la ejecución y la operación. Esta tarea es crucial para establecer las limitaciones actuales y generar estimaciones de costos adecuadas, así como para enfocar la atención del gerente de proyecto en la minimización de los riesgos (Ward, Chapman y Curtis, 1991). Una gestión inadecuada de los riesgos durante la planificación y el diseño preliminar puede dar lugar a deficiencias en las adquisiciones y la estructuración financiera, que a su vez, pueden derivar en un desempeño por debajo de lo normal (Beckers y Stegemann, 2013). La identificación imparcial de riesgos durante la planificación incluso puede hacer que los responsables de la toma de decisiones descarten el proyecto propuesto y busquen alternativas (véase el capítulo 3).

Identificación de riesgos

La identificación de riesgos se refiere a la elaboración de una lista completa de eventos de riesgo, por lo general agrupados en diferentes categorías, y a la clara determinación de la manera en que esos riesgos afectarán el resultado del proyecto en caso de materializarse (Banco Mundial, 2014). Esta lista exhaustiva de todos los riesgos relacionados con el proyecto se conoce como "registro de riesgos" o "matriz de riesgos" (véase el recuadro 7.1; Banco Mundial, 2014).

Estas listas se suelen elaborar como parte de talleres de identificación de riesgos. En el caso de la línea 1 del metro de Bogotá (Colombia), los funcionarios públicos llevaron a cabo un taller de identificación y asignación de

RECUADRO 7.1.

La importancia de contar con un registro de riesgos

Se recomienda preparar registros de riesgos durante la planificación del proyecto. Los registros de riesgos son, básicamente, registros de información donde se almacenan los detalles de todos los riesgos identificados durante el desarrollo del proyecto. A continuación se indica la información principal que se incluye en un registro de riesgos:

- número de identificación del riesgo;
- descripción de cada riesgo;
- descripción de cómo afecta cada riesgo al proyecto;
- evaluación de la probabilidad y el impacto de cada riesgo;
- clasificación del riesgo;
- parte responsable de gestionar el riesgo;
- medidas de mitigación propuestas;
- impacto en el costo y responsabilidad por cada medida.

En un registro de riesgos no solo se incluyen los riesgos identificados sino que también se categorizan. Esto puede ayudar a evitar puntos ciegos y a controlar riesgos que se superponen. El registro de riesgos detallado se usa para llevar a cabo una evaluación cuantitativa de riesgos de manera ordenada, por lo general en el contexto de ejercicios de evaluación inicial como evaluaciones o estimaciones de costos para crear el presupuesto y el caso de referencia. Sin embargo, para asignar los riesgos (sobre todo en el contexto de una APP), se crea una lista más simple mediante una matriz de asignación de riesgos.

Los registros de riesgos son útiles para seguir de cerca y, siempre que sea posible, reducir los riesgos potenciales y documentar las responsabilidades y las medidas de mitigación durante el período de vigencia del proyecto. Antes de elaborar un registro de riesgos, los organismos de ejecución de proyectos deben conocer y comprender cabalmente el proyecto, las partes interesadas y las posibles estrategias de mitigación (incluso la mitigación temprana). En el cuadro B7.1.1, se brinda un ejemplo de registro de riesgos que puede ayudar a los organismos de ejecución de proyectos a generar su propio registro para un proyecto ferroviario urbano.

(El recuadro continúa en la página siguiente.)

RECUADRO 7.1.

La importancia de contar con un registro de riesgos *(Continuación)*

CUADRO B7.1.1. Ejemplo de un registro de riesgos para un proyecto ferroviario urbano en el contexto de una asociación público-privada

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN	CATEGORÍA DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO IDENTIFICADO	IMPACTO SOBRE EL PROYECTO (SI EL RIESGO NO SE MITIGA)	EVALUACIÓN DE RIESGOS				ASIGNACIÓN DE RIESGOS			MITIGACIÓN		
				P	I	CL	CA	PÚBLICO	PRIVADO	COMPARTIDO	MEDIDA	CRONOGRAMA	COSTO (USD)
1	Emplazamiento	Incapacidad del propietario del proyecto para adquirir todos los terrenos necesarios	Aumento de los costos; demoras	2	2	4	Intermedio	☑			Adquisición de los terrenos necesarios antes de iniciar el proyecto	Antes de la construcción	USD 62 millones
2	Operación	Subestimación de la demanda de pasajeros	Se necesitan mayores subsidios	2	3	6	Alto	☑			Implementación de la integración física y de tarifas	Antes de la construcción y durante este proceso	USD 35 millones

Nota: Para evaluación de riesgos, P = probabilidad del riesgo; I = impacto del riesgo; CL = clasificación del riesgo; CA = calificación del riesgo.. Para calcular la clasificación del riesgo se debe multiplicar la valoración de probabilidad por la calificación del impacto; los valores para la calificación del riesgo son los siguientes: 1-2 = bajo; 3-5 = intermedio; 6-9 = alto. Los costos no corresponden a proyectos reales y se proporcionan únicamente con fines indicativos.

riesgos al inicio de la etapa de formulación del proyecto. Esto ayudó a centrar la atención en el análisis de otros riesgos, tales como los riesgos financieros, además de considerar los aspectos de ingeniería relacionados con la construcción. Los responsables de la toma de decisiones aplicaron un enfoque integral de gestión de riesgos a todas las etapas del proyecto (véase el recuadro 7.2).

RECUADRO 7.2.

Identificación temprana de riesgos en el taller de gestión de riesgos: línea 1 del metro, Bogotá (Colombia)

En 2014, el Banco Mundial brindó asistencia al Gobierno de Bogotá con la evaluación preliminar de modelos comerciales para implementar la primera línea del sistema de metro en Bogotá. Con el apoyo del Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada, el Banco llevó a cabo un proyecto de asistencia técnica en el que se exploraron las ventajas y desventajas de diferentes opciones de adquisiciones y financiamiento utilizando un enfoque basado en el riesgo.

La primera tarea del proyecto de asistencia técnica consistió en evaluar estudios de casos internacionales, centrándose en los riesgos y las medidas de mitigación adoptadas en esos casos. Luego se realizó un taller preliminar de riesgos durante el cual las partes interesadas pertinentes evaluaron el proyecto desde la perspectiva de la gestión de riesgos. Observaron todos los riesgos potenciales, no solo los que surgen de los estudios de ingeniería. Al taller asistieron representantes de todos los organismos públicos involucrados en el proyecto, incluidos el Gobierno de la ciudad y el Gobierno nacional, la empresa consultora a cargo del diseño del proyecto y representantes de instituciones financieras internacionales. A modo de evaluación preliminar, el objetivo de este ejercicio era sentar las bases para un panel de expertos, en el que participaran profesionales independientes con experiencia en proyectos similares. Se programó que el panel se reuniera durante la fase de estructuración del proyecto.

El taller comenzó con una presentación sobre los principales riesgos pertinentes para los proyectos ferroviarios urbanos y posteriormente se realizó una identificación preliminar de los riesgos más importantes específicos del proyecto. Esta identificación se basó en los parámetros del proyecto disponibles en ese momento y se aceptó el supuesto de que la ejecución se realizaría de acuerdo con el modelo comercial que el organismo de obras públicas de Bogotá (el Instituto de Desarrollo Urbano, la entidad a cargo del proyecto en ese momento) había considerado originalmente. Luego, se pidió a los participantes que compartieran su opinión sobre la probabilidad de los riesgos identificados y su posible impacto. Finalmente, los participantes opinaron sobre la asignación de riesgos más deseable desde la perspectiva del organismo de ejecución del proyecto y establecieron una matriz preliminar de riesgos para el proyecto.

Si bien es importante identificar los riesgos de manera temprana, también es importante revisar con frecuencia estas listas. La gestión de riesgos es un esfuerzo constante que debe continuar durante todo el período de vigencia del proyecto ya que, como el organismo de ejecución se ocupa de un proyecto ferroviario urbano desde la etapa de formulación hasta la operación, pueden presentarse diferentes circunstancias y riesgos.

Evaluación de riesgos

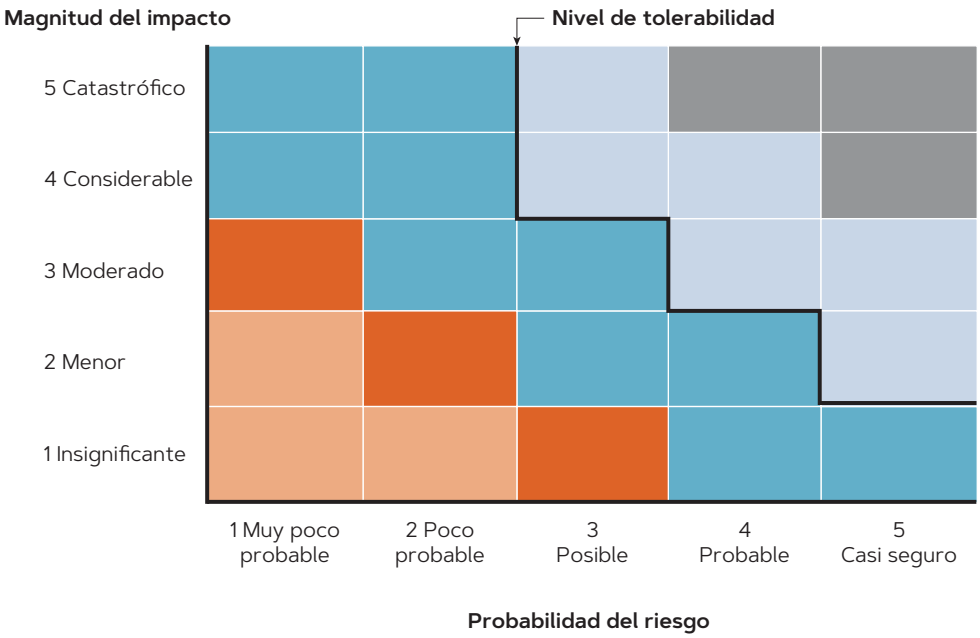
Una vez que los riesgos del proyecto se han identificado adecuadamente, el siguiente paso en el proceso de gestión consiste en evaluar dichos riesgos. En términos sencillos, la evaluación de riesgos es el proceso mediante el cual se estima el nivel de cada riesgo identificado en el proyecto en relación con su "valor previsto" (probabilidad multiplicada por impacto). Si se considera el nivel de detalle y el objeto del análisis, existen dos categorías amplias de evaluación: cualitativa (o semicuantitativa) y cuantitativa.

Evaluación cualitativa

El objetivo de la evaluación cualitativa es comprender cuáles son los riesgos más importantes del proyecto, con el fin de establecer el orden de prioridad y decidir cuál de ellos merece atención especial. Esta atención particular puede realizarse a través de investigaciones y encuestas adicionales (por ejemplo, estudios geotécnicos o análisis de la demanda), evaluaciones cuantitativas detalladas, medidas de mitigación temprana y, sobre todo, una estrategia para asignar riesgos a las partes interesadas que estén mejor preparadas para gestionarlos.

En el Reino Unido, una buena práctica es utilizar una matriz de riesgos (o matriz de tolerabilidad) similar a la que se muestra en el gráfico 7.1. Esta matriz es importante no tanto para determinar el valor absoluto de cada riesgo, sino para determinar si el riesgo es tolerable para la parte que está a cargo de su gestión (El Tesoro de Su Majestad, 2013). Es importante que la evaluación se base en evidencia independiente imparcial, ya que esto permitirá analizar las perspectivas de todas las posibles partes interesadas y evitará confundir la evaluación objetiva de los riesgos con opiniones acerca de la aceptabilidad del riesgo (El Tesoro de Su Majestad, 2013). En el gráfico 7.1 se muestra una representación gráfica de una matriz simple de tolerabilidad de riesgos que se puede usar para evaluar la magnitud del impacto y la probabilidad de que se produzca cada uno de los riesgos de un proyecto ferroviario urbano. En el cuadro 7.3 se incluye un ejemplo de cómo documentar el

GRÁFICO 7.1. Matriz simple de tolerabilidad de riesgos para un proyecto ferroviario urbano



Fuente: Adaptado de El Tesoro de Su Majestad, 2004.

riesgo, el impacto y la valoración de probabilidad de cada riesgo, y todas las medidas de mitigación o complementarias que se necesitan para un proyecto ferroviario urbano real.

Si bien existen varias herramientas y técnicas, la evaluación cualitativa de riesgos sigue siendo un proceso subjetivo que se basa en el buen juicio de los responsables de la toma de decisiones. También es un proceso complejo e iterativo en el que se deben manejar diferencias de opiniones e información imperfecta.

Evaluación cuantitativa

El objetivo de una evaluación cuantitativa es generar una estimación del valor previsto del riesgo. Es necesaria para calcular los costos ajustados según el riesgo, los que servirán de base para determinar el límite máximo para el presupuesto del proyecto, evaluar si el proyecto es asequible y llevar a cabo otros

CUADRO 7.3. Ejemplo de identificación de riesgos y matriz de evaluación para un proyecto ferroviario urbano: línea 2 del metro, Lima (Perú)

RIESGO	CALIFICACIÓN DE PROBABILIDAD	CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	INDICADOR DE SEGUIMIENTO
Impacto negativo imprevisto sobre hallazgos culturales	2	2	Intermedio	Evaluación del patrimonio cultural y plan de gestión	Informe complementario y de seguimiento de riesgos
Demanda menor a la esperada debido a la falta de integración con otras modalidades	2	3	Alto	Creación de un organismo provisional con representantes de todos los niveles de Gobierno en la región metropolitana	Cantidad de líneas de autobús que se conectan con el proyecto (alimentadoras) Cantidad de líneas paralelas eliminadas
Demoras en la adquisición de terrenos	2	3	Alto	Fortalecimiento de la capacidad del organismo de ejecución	Indicadores de ejecución del proyecto: Planificado vs. real

Nota: Para calcular la clasificación del riesgo, se debe multiplicar la calificación de probabilidad por la calificación del impacto. Las calificaciones del impacto son las siguientes: 1-2 = bajo; 3-5 = intermedio; 6-9 = alto.

ejercicios relacionados con la evaluación inicial de un proyecto (como el análisis del valor por dinero (VpD) en el contexto de una APP).

Para cuantificar los riesgos se suelen usar diferentes metodologías. En general, son dos los enfoques de cuantificación de riesgos que se usan con más frecuencia:

1. En el *análisis de escenarios* se aplican valores a escenarios específicos para comprender qué sucedería en cada uno de ellos: tanto en el peor y el mejor de los casos como en la hipótesis más probable.

2. En el *análisis probabilístico* (como las simulaciones de Monte Carlo) se muestra el resultado de cada evento y la posibilidad de que ocurra (probabilidad). En este análisis probabilístico se puede adoptar un enfoque paramétrico si la distribución de probabilidades de riesgo responde a una distribución conocida, como normal o triangular (que se usan generalmente en caso de que los costos sean superiores a los previstos) o un enfoque estocástico, si la distribución de probabilidades de riesgo responde a un comportamiento aleatorio browniano (por ejemplo, tasas de interés o demanda).

Mitigación de riesgos

Una vez que se hayan identificado y evaluado los riesgos, las partes interesadas del proyecto pueden comenzar a mitigarlos de forma proactiva. La mitigación de riesgos puede adoptar diferentes formas. Desde la perspectiva de la autoridad contratante, por ejemplo, la solución definitiva puede ser transferir el riesgo a un tercero asignando las consecuencias financieras del evento a través del contrato (con el contratista o socio privado en una APP) o vendiéndolo a una compañía aseguradora. En consecuencia, el concepto de mitigación puede incluir la "asignación de riesgos" o el "tratamiento de riesgos"; no obstante, a los fines de este manual, los trataremos como distintos pasos de la estrategia de gestión de riesgos. Por lo tanto, en este manual, la mitigación de riesgos se define como toda medida o iniciativa que puede reducir la probabilidad de que ocurra un riesgo o su impacto a lo largo de la vida útil de un proyecto. Como tal, la mitigación de riesgos no depende de quién o qué parte del proyecto asume las consecuencias financieras de los riesgos.

Se dispone de varios enfoques y mecanismos para la implementación de estrategias y medidas eficaces de mitigación de riesgos, entre los que se incluyen los siguientes:

- medidas de mitigación temprana;
- proceso adecuado de calificación y selección;
- planificación adecuada y contratación de un consultor de supervisión de la gestión de proyectos (CSGP) para gestionar los riesgos durante toda la ejecución;
- participación de otras partes interesadas pertinentes del sector público en las consecuencias de los eventos negativos que ocurren, o en la gestión de estas consecuencias o la reacción ante ellas.

La mitigación temprana se enfoca principalmente en la evaluación y la investigación, que incluye investigaciones sólidas que aportan información importante sobre los riesgos (y, por lo tanto, reducen la incertidumbre), como estudios geotécnicos; estudios sobre el tráfico, la demanda y los ingresos; mapas arqueológicos; mapas de redes de servicios públicos, y exámenes del estado de los edificios circundantes (véase el capítulo 11). La mitigación temprana está estrechamente relacionada con el concepto de evaluación inicial y preparación de proyectos, y no depende de quién termina asumiendo el riesgo de acuerdo con el ejercicio de asignación de riesgos. La mayoría de los fracasos de los proyectos se deben a una mala preparación y, por lo tanto, la mitigación temprana es fundamental.

Además de un nivel adecuado de investigación y evaluación, la mitigación temprana también implica lograr acuerdos con otras partes interesadas (como niveles y unidades de Gobierno diferentes del organismo de ejecución del proyecto y las asociaciones comunitarias) para asegurarse de que estas acepten el proyecto o aporten ideas con antelación. Otro ejemplo de mitigación temprana es preparar campañas de comunicación con el objetivo de aumentar la aceptación del proyecto por parte del público, especialmente entre los grupos de oposición. Por último, la creación de un registro de riesgos y la introducción de una estrategia de transferencia también se consideran medidas de mitigación temprana. Este tema se analiza en detalle en la siguiente sección.

En muchos casos, en los proyectos ferroviarios urbanos administrados por un organismo de ejecución a cargo de varios procesos de licitación surgen complicaciones y demoras. Algunos de esos problemas se deben al desempeño deficiente de los contratistas en aspectos fundamentales y otros son atribuibles a ineficiencias en la administración del proyecto. En teoría, esos riesgos relacionados con los costos y las demoras se podrían minimizar si las adquisiciones del proyecto se realizaran mediante un contrato único de llave en mano en el que el contratista fuera responsable de todos los componentes[3]. Sin embargo, en la práctica, el organismo de ejecución del proyecto aún puede tener una función fundamental en la aprobación de los diseños actualizados y una función de supervisión para garantizar que se respeten las normas de construcción. El contrato llave en mano se debe diseñar de manera tal que garantice la integración adecuada entre la infraestructura y los sistemas, y respalde la sostenibilidad de la operación del sistema a largo plazo.

Si bien se trata solamente de un ejemplo, esto ayuda a ilustrar la importancia de considerar la elección de los modelos de ejecución de proyectos y la estrategia de adquisiciones para el proyecto como una forma de mitigación de riesgos. En particular, el organismo de ejecución debe establecer procesos adecuados de calificación y selección para contratistas y considerar la posibilidad de contratar un consultor de supervisión de la gestión de proyectos que gestione los riesgos retenidos y controle o supervise la gestión de los riesgos transferidos. En el capítulo 8 de este manual se ofrece un análisis adicional de las consecuencias para la gestión de riesgos de diferentes modelos de ejecución de proyectos, incluso los que se basan en contratos llave en mano.

Asignación o transferencia de riesgos

La asignación de riesgos es uno de los ejercicios más importantes en el proceso de preparación de un proyecto ferroviario urbano (Banco Mundial, 2014). Al trabajar con un proyecto complejo multimillonario (por lo general, de miles

de millones de dólares), es extremadamente importante que el organismo de ejecución distribuya los riesgos de manera eficaz y eficiente entre las partes interesadas del proyecto. Es un paso fundamental para aumentar la probabilidad de éxito de un proyecto y reducir la posibilidad de sufrir pérdidas.

Los organismos de ejecución de proyectos deben tener la posibilidad de tomar una decisión informada con respecto a cuáles son las partes interesadas que en última instancia serán responsables de evitar o minimizar un riesgo en particular e internalizar el impacto financiero asociado con el posible suceso. En este contexto, se plantea uno de los principios más pertinentes en lo que respecta a la gestión de riesgos: cada riesgo se debe asignar a la parte que esté mejor preparada para gestionarlo, es decir, la parte que mejor pueda evitar los riesgos, siempre que sea posible, o gestionarlos en caso de que ocurran. También significa que el riesgo recae sobre la parte que puede asumirlo al menor costo. El menor costo no solo guarda relación con la capacidad de una parte interesada de reducir el impacto financiero del riesgo que se materializa, sino también con la posibilidad de asumir el riesgo con la menor prima de riesgo. La decisión de asignar un riesgo a una parte está determinada por la experiencia técnica y la capacidad financiera de dicha parte (Stambrook, 2005).

La promoción de la asignación eficaz de riesgos en proyectos ferroviarios urbanos se basa esencialmente en opiniones subjetivas de expertos. Sin embargo, es importante definir algunos criterios (como los conocimientos técnicos especializados, la capacidad financiera y la experiencia previa en proyectos similares de las partes interesadas) y tener en cuenta que las partes usan la disparidad de información en beneficio propio. Según Ng y Loosemore (2007), los riesgos se deben asignar a la parte interesada que:

- tenga plena consciencia de los riesgos que asume;
- tenga la mayor capacidad (experiencia y autoridad) para gestionar el riesgo de manera eficaz y eficiente con la menor prima de riesgo;
- tenga la capacidad y los recursos necesarios para afrontar el riesgo;
- tenga el interés necesario en asumir el riesgo, y
- haya tenido la oportunidad de cobrar una prima adecuada por asumir el riesgo.

La transferencia de riesgos tiene su costo. Cuando un contratista sabe que deberá asumir un tipo determinado de riesgo, los honorarios profesionales y el precio de la licitación incluirán una prima para reflejar el valor esperado del

riesgo, una suma para contingencias en la mayoría de los casos, y una comisión por el servicio de asumir el riesgo. Es posible que el cliente no sea consciente de la magnitud de la prima, que puede representar una parte importante del precio de la oferta (Ward, Chapman y Curtis, 1991).

Además, la transferencia eficaz de riesgos del sector público al sector privado requiere más que un acuerdo contractual para establecer la asignación de un determinado riesgo a una parte privada. Es fundamental conocer un riesgo (su probabilidad y su posible impacto en el proyecto) para obtener una estimación razonable de la prima de riesgo con la finalidad de lograr un equilibrio contractual adecuado entre los riesgos y los beneficios.

En cada contrato se debe incluir un paquete de seguridad adecuado a fin de garantizar que todos los riesgos transferidos a un contratista privado cuenten con el debido respaldo de las garantías necesarias. Esta necesidad aumenta la importancia de los estudios de preparación, como las pruebas geológicas preliminares y los análisis de la demanda, entre otros. Las inversiones en los análisis se traducen en menor incertidumbre del proyecto y en la necesidad de pagar primas más bajas para transferir los riesgos restantes. En varios proyectos recientes, una preparación deficiente de la ingeniería y los sondeos geotécnicos inadecuados generaron sorpresas que demoraron los proyectos y redundaron en costos más altos.

Tratamiento de los riesgos retenidos

Una vez que se distribuyen los riesgos, cada parte debe ocuparse del tratamiento de sus propios riesgos retenidos. En el ámbito de este manual, el tratamiento de riesgos retenidos hace referencia a la gestión de los riesgos que el propietario del proyecto o el organismo de ejecución del proyecto asumen porque no era eficiente transferirlos al socio privado o al contratista. En esos casos, el organismo de ejecución tiene dos opciones: autoasegurar el riesgo o adquirir un seguro comercial. Cuando se autoasegura el riesgo, el organismo de ejecución asume las consecuencias y crea proactivamente un fondo de contingencia o confía en que en el futuro dispondrá del presupuesto necesario para cubrir cualquier costo en caso de que el riesgo se materialice. Como alternativa, el propietario del proyecto puede obtener un seguro contra el riesgo específico o incluso usar un instrumento de cobertura para algunos riesgos financieros y económicos (por ejemplo, un *swap* de tasas de interés para un préstamo con interés variable). Estas actividades constituyen una alternativa a la gestión reactiva cuando se materializa un riesgo y reducen la posibilidad de que surjan pasivos contingentes.

Seguimiento de los riesgos

Los riesgos identificados en proyectos ferroviarios urbanos se caracterizan por un contexto dinámico y marcado por el cambio constante. Después de haber identificado, evaluado, asignado y tratado los riesgos, el siguiente paso del proceso de gestión es el seguimiento de los riesgos. El objetivo principal es actualizar periódicamente los tipos de riesgos, la probabilidad de que ocurran y la magnitud de sus consecuencias, y ajustar el marco de gestión de manera acorde, a medida que avanza el proyecto. En el proceso de seguimiento de los riesgos no se debe monitorear solamente la probabilidad y las consecuencias de un riesgo, sino también la "eficacia y la adecuación de los controles existentes, los planes de tratamiento de riesgos y el proceso para gestionar su implementación" (ISO 2009).

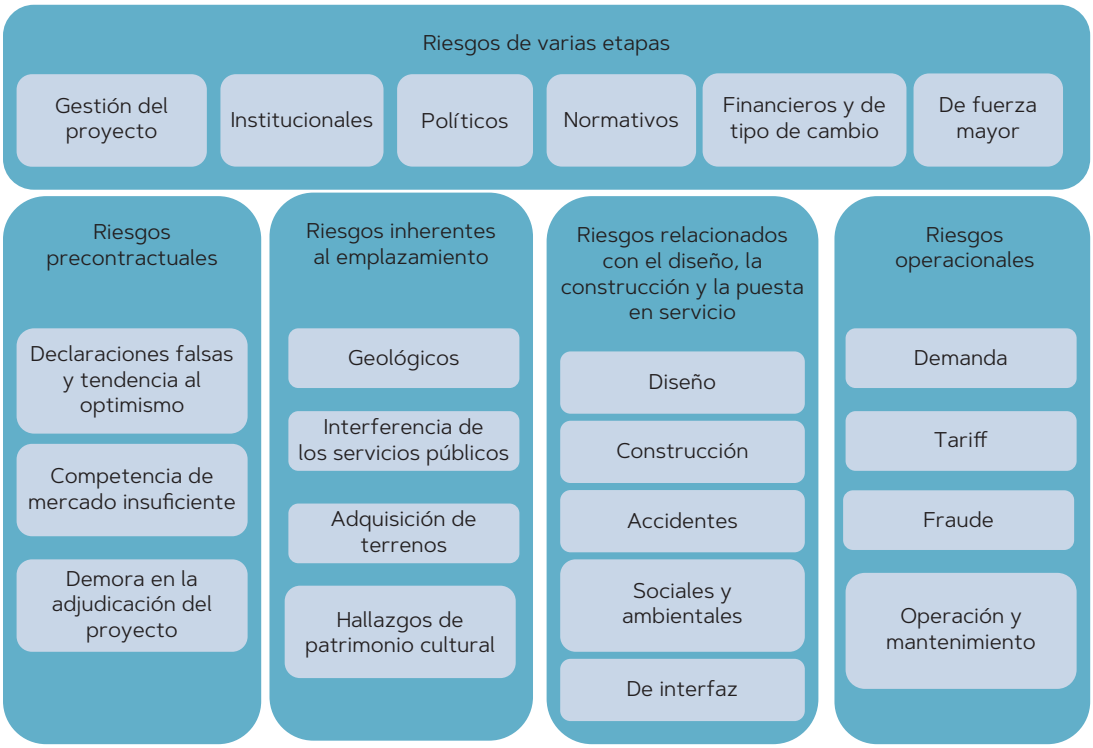
Para gestionar de manera eficaz los riesgos de los proyectos ferroviarios urbanos, es importante supervisar cada riesgo utilizando el registro y ser conscientes de que la probabilidad y el impacto de esos riesgos pueden cambiar a medida que el proyecto avanza. El organismo de ejecución del proyecto debe pensar en el seguimiento no solo de los riesgos retenidos, sino también de los transferidos al sector privado o a otros asociados. Este seguimiento es una característica importante de los informes de supervisión requeridos por el Banco Mundial en proyectos ferroviarios urbanos en curso.

Principales riesgos posibles en proyectos ferroviarios urbanos

Si bien hay muchas maneras de categorizar los riesgos de los proyectos ferroviarios urbanos, una manera útil de identificarlos y organizarlos consiste en relacionarlos con la etapa de elaboración del proyecto en el que se prevé que ocurrirán. En esta sección se presentan los riesgos posibles más pertinentes para la elaboración y la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos utilizando las siguientes categorías de riesgo:

- riesgos de varias etapas
- riesgos previos al contrato
- riesgos relacionados con el emplazamiento
- riesgos relacionados con el diseño, la construcción y la puesta en servicio
- riesgos relacionados con la operación (véase el gráfico 7.2).

GRÁFICO 7.2. Categorización de riesgos para proyectos ferroviarios urbanos



Riesgos de varias etapas

En las diferentes etapas de desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos pueden presentarse riesgos importantes. En muchos casos, estos riesgos no afectan a una etapa específica del proyecto ni se los puede atribuir a ella y, por lo tanto, es posible que requieran de atención permanente y una correcta gestión. Entre estos riesgos se incluyen la falta de gestión adecuada de proyectos y riesgos institucionales, políticos, regulatorios, de fuerza mayor, y financieros y de tipo de cambio.

Riesgos inherentes a la gestión de proyectos

Comprender los posibles riesgos inherentes a la gestión de proyectos durante cualquier etapa del proyecto y contar con las herramientas esenciales y el personal calificado para gestionar esos riesgos es fundamental para un proceso exitoso. Para mitigar estos riesgos, los organismos de ejecución pueden

contratar a un CSGP calificado que brinde servicios estratégicos de gestión además de los servicios proporcionados por un consultor de supervisión del contrato y establecer un control adecuado del alcance, el presupuesto y el cronograma del proyecto durante toda la ejecución (véase el capítulo 4).

Riesgos institucionales

Los riesgos pueden generarse o exacerbarse a partir de acuerdos institucionales ineficaces o fragmentados que no son adecuados para la elaboración y la ejecución de un proyecto a gran escala. Independientemente de cómo se ejecute el proyecto o cuál sea el nivel de participación privada, se necesita un organismo de ejecución del proyecto sólido que se encargue de la planificación, las adquisiciones y la supervisión de la ejecución y la operación del proyecto, y un mandato que vaya más allá de la gestión de la obra civil. Idealmente, los organismos de ejecución deben poder manejar aspectos que están fuera del alcance del proyecto, pero que son fundamentales para el éxito (como la integración física, operacional y tarifaria con otras modalidades, cambios en el uso del suelo y el desarrollo urbano).

La capacidad y la coordinación institucionales se tornan incluso más importantes en el contexto de proyectos que involucran a varios niveles de Gobierno (nacional, provincial o estatal y municipal). Cuando los organismos de ejecución de proyectos no tienen un mandato más amplio e intervienen varios niveles de Gobierno, un factor fundamental para el éxito es la presencia de una entidad responsable de la coordinación de los diversos proveedores de servicio y de la planificación y regulación del transporte en la región metropolitana (véase el capítulo 12). El Consorcio Regional de Transporte de Madrid, que agrupa más de 170 municipios, Gobiernos a nivel regional y nacional, gremios, consumidores y otras partes interesadas pertinentes, es un buen ejemplo de una autoridad de coordinación con poder sobre factores fundamentales para el éxito de un proyecto ferroviario urbano que forma parte de un sistema de transporte multimodal jerárquicamente integrado.

Riesgos políticos

Los riesgos políticos son los riesgos asociados a una acción (o inacción) por parte del Gobierno que puede afectar negativamente la ejecución del proyecto. Si bien los acontecimientos políticos también pueden afectar la ejecución de proyectos desarrollados en el marco de adquisiciones públicas, este tipo de riesgos es más pertinente para proyectos elaborados a través de una APP, en la que el socio privado está expuesto a acciones del Gobierno que pueden obstaculizar sus operaciones o afectar sus ganancias, como la rescisión injusta del contrato, el cese de pagos, el incumplimiento de las obligaciones contractuales, la

expropiación o la confiscación de activos, y las limitaciones con respecto a la convertibilidad y transferibilidad de divisas. Un ejemplo de incumplimiento de las obligaciones contractuales se da cuando se incluye una cláusula de no competencia en un contrato de operación de una línea ferroviaria urbana, pero el Gobierno autoriza a otro operador de transporte a brindar un servicio que compite con el primero (por ejemplo, autobús de tránsito rápido en la ruta del proyecto) y reduce la cantidad de pasajeros de la línea. Otro ejemplo es cuando el Gobierno no implementa servicios de autobuses alimentadores que forman parte del plan de transporte acordado y que son esenciales para que la cantidad de pasajeros alcance los niveles previstos.

El riesgo de decisiones políticas adversas aumenta con los cambios de Gobierno. Habida cuenta de que los proyectos ferroviarios urbanos se extienden a lo largo de varias administraciones, las autoridades gubernamentales y los organismos de ejecución deben garantizar el amplio apoyo de los diferentes partidos políticos e incluir los compromisos asumidos por el Gobierno en presupuestos a largo plazo o a través de la ratificación de acuerdos de proyectos por parte de las legislaturas correspondientes.

Los bancos multilaterales de desarrollo suelen asumir una función importante en los proyectos ferroviarios urbanos que va más allá del financiamiento. Un socio privado puede tener motivos válidos para dudar de la capacidad del socio público de cumplir con las obligaciones contractuales, especialmente si se trata de un socio que ejecuta un proyecto ferroviario urbano por primera vez. El Grupo Banco Mundial puede brindar garantías para cubrir riesgos específicos derivados del incumplimiento de las obligaciones del Gobierno o de determinados acontecimientos políticos. Durante la preparación del proyecto, el organismo de ejecución del proyecto puede evaluar la disponibilidad potencial de estos instrumentos y otros mecanismos de mejoramiento del crédito del contrato (véase el capítulo 10). En la medida en que ciertos proyectos se financien comercialmente, los organismos de ejecución también pueden mejorar las perspectivas de llegar al cierre financiero incluyendo cláusulas de rescisión en el acuerdo de APP, a fin de proteger los derechos de los prestamistas en caso de riesgos políticos y lograr que el proyecto sea más susceptible de recibir financiamiento (véase el capítulo 10).

En cierta medida el riesgo político se superpone con el riesgo país. Así, se amplía la definición para abarcar otros factores que en algunos casos también pueden surgir a raíz de decisiones políticas. Entre estos factores se incluyen desaceleraciones económicas, clima poco propicio para los negocios y sucesos relacionados con la seguridad, como disturbios civiles y guerras (también considerados riesgos de fuerza mayor, que se analizarán más adelante).

Riesgos normativos

Los riesgos normativos se originan con los cambios en los marcos legales y regulatorios en los cuales se basó originalmente la estructuración del proyecto. Dichos cambios pueden afectar negativamente la ejecución del proyecto. Un ejemplo es la modificación de la forma y la periodicidad de los ajustes tarifarios que impide que los operadores aumenten las tarifas para cubrir costos. Otro ejemplo puede ser la imposición de nuevas normas técnicas o de seguridad que causan retrasos en la operación o aumentos en su costo. Los Gobiernos deben ser conscientes de la aversión del sector privado a los riesgos normativos (y políticos) y brindar marcos jurídicos estables. Se recomienda que el sector público retenga estos riesgos y que los contratos incluyan protecciones para salvaguardar a los socios privados respecto de estos cambios.

Riesgos de fuerza mayor

Los riesgos de fuerza mayor (o "casos fortuitos") son los riesgos relacionados con sucesos que ninguna parte interesada del proyecto puede evitar o controlar. Algunos ejemplos de ellos son terremotos, tormentas, inundaciones, accidentes externos (por ejemplo, falla de otro tipo de infraestructura que afecta el proyecto) y otros eventos naturales y provocados por el hombre. En un contexto de APP, las posibles medidas de mitigación incluyen obligaciones definidas contractualmente para cada parte interesada del proyecto en caso de que ese riesgo se materialice. Esta medida evita batallas legales que podrían traducirse en mayores costos y demoras. Otra medida de mitigación consiste en incluir compañías de seguros en el proyecto. Por ejemplo, después del paso de la supertormenta Sandy por las ciudades costeras de Nueva York y Nueva Jersey en los Estados Unidos en 2012, la Autoridad Metropolitana de Transporte de Nueva York adquirió un seguro por USD 200 millones para la protección ante futuros eventos relacionados con tormentas (véase el capítulo 17).

Riesgos financieros y de tipo de cambio

El riesgo financiero hace referencia a la capacidad de obtener el financiamiento adecuado o esperado, o a las fluctuaciones en el costo del financiamiento (tasa de interés) durante el período de vigencia del proyecto. El riesgo inherente al tipo de cambio o riesgo cambiario hace referencia al riesgo de variaciones en el tipo de cambio. Estas variaciones pueden afectar al proyecto de dos maneras: 1) mediante la modificación de los costos finales de materiales o del precio de equipos o 2) mediante la modificación de la tasa de interés en términos reales, es decir, el costo real de financiamiento en términos de moneda local, que no solo se ve afectado por la variación en la tasa de interés original (por ejemplo, tasa de interés en dólares estadounidenses) sino también por la variación en el tipo de cambio.

Desde la perspectiva de la inversión o el financiamiento privados de un socio en una APP, el problema más frecuente en muchas economías de ingreso bajo y medio es que las tarifas están en moneda local y la deuda asumida por el concesionario del sector privado está generalmente en moneda extranjera (en muchos casos, en dólares estadounidenses o en euros). Cuando el mercado financiero local está poco desarrollado para brindar una cantidad considerable de financiamiento a largo plazo en moneda local, para lograr que un proyecto sea más susceptible de recibir financiamiento (en una moneda que no sea probable que se deprecie de manera repentina), el contrato del proyecto debe incluir cláusulas de mitigación de ese riesgo. Por ejemplo, el contrato puede incluir una disposición para distribuir el riesgo de devaluación, lo que permite al socio privado recibir compensación si la devaluación supera determinados umbrales. La APP de la línea 4 del metro de São Paulo tiene una cláusula de mitigación de riesgos cambiarios. En el capítulo 9 se incluye un análisis más detallado del riesgo cambiario y de las posibles opciones de mitigación y eliminación de riesgos en el caso de las APP.

Riesgos previos al contrato

Durante el período de selección, preparación y licitación del proyecto (que, a los fines de este capítulo, se denominará colectivamente etapa previa al contrato), se pueden materializar varios riesgos y amenazas que pueden derivar en el fracaso del proyecto. Dicho fracaso puede tener diferentes manifestaciones, como la cancelación del proyecto antes de la licitación o antes de la firma del contrato, la imposibilidad de generar una licitación competitiva, la rescisión anticipada de un contrato adjudicado o un desempeño general del proyecto por debajo de las expectativas. Entre las causas se pueden incluir una comunicación inadecuada, la falta de capacidad técnica para gestionar el proceso de desarrollo del proyecto, errores y parcialidad en la evaluación inicial, y la complejidad intrínseca y los desafíos naturales relacionados con las características específicas del proyecto. Algunos de los riesgos más comunes en esta etapa son las declaraciones falsas y la tendencia al optimismo, insuficiente competencia de mercado y demoras en la adjudicación del contrato (en una APP o en un modelo tradicional de ejecución de proyectos). En las siguientes subsecciones se indica la causa de algunos de estos riesgos y se brindan ideas sobre medidas prácticas de mitigación.

Riesgo inherente a las declaraciones falsas y la tendencia al optimismo

Comúnmente, las personas que elaboran un proyecto son demasiado optimistas. Suelen analizar los eventos inciertos del futuro de una manera más positiva y tienden a no informar el nivel y la magnitud verdaderos de la incertidumbre del proyecto. Al mismo tiempo, los actores políticos que intervienen en el proceso

pueden hacer declaraciones falsas sobre el proyecto con fines estratégicos, sobrevalorando los beneficios y subestimando los costos para aumentar la probabilidad de que el proyecto sea aprobado y reciba financiamiento (Flyvbjerg, 2006). Los planificadores y los encargados de la ejecución deben actuar con cautela para evitar estas trampas.

Habida cuenta de estas tendencias y del hecho de que los megaproyectos ferroviarios urbanos y otros tipos de transporte se suelen usar para influenciar procesos políticos, se necesitan estudios de factibilidad con datos de alta calidad y técnicas analíticas aplicadas de manera imparcial para evaluar el proyecto propuesto (véase el capítulo 3). La calidad de esos estudios de factibilidad depende del tiempo y de los recursos que se les dediquen. Una evaluación inicial inadecuada de un proyecto puede dar lugar a una decisión de inversión indebida o a la licitación de proyectos que no sean viables desde los puntos de vista financiero y económico.

Riesgo de insuficiente competencia en el mercado

Los procedimientos de adquisiciones que fomentan la competencia entre muchos licitantes pueden ayudar a reducir el costo total de un proyecto. Se plantea un riesgo de competencia insuficiente al elegir procedimientos de adquisiciones que no se hayan evaluado adecuadamente en relación con el mercado o que no sean adecuados para el proyecto en particular. Antes de decidir si los procedimientos de adquisiciones propuestos (por ejemplo, costos unitarios o cantidades frente a llave en mano con suma global, tamaño de lotes individuales de contratos, y otros) son adecuados y los mejores para el proyecto, se deben realizar consultas y analizar el mercado cuidadosamente (véase el capítulo 8). Por ejemplo, los contratistas que estaban acostumbrados a costos unitarios o cantidades se resistieron a la introducción de procedimientos de llave en mano en la línea 4 del metro de São Paulo, lo cual generó un importante aumento de costos.

Diseñar los hitos de pago adecuados en una licitación llave en mano para garantizar que el flujo de dinero del contratista siga siendo positivo es fundamental para que el proyecto tenga éxito y para ello, el propietario debe realizar un diseño cuidadoso. El tipo de documentos que se utilizan en la licitación (por ejemplo, documentos de la Federación Internacional de Ingenieros Consultores[4] o documentos de adquisiciones nacionales) también puede afectar el nivel de participación de los licitantes y los precios ofrecidos. Incluir especialistas en adquisiciones en las primeras etapas del desarrollo del proyecto para evaluar el mercado y brindar asesoramiento sobre la estrategia de adquisiciones adecuada puede ayudar a evitar demoras y riesgos adicionales posteriormente.

Proceso de licitación interrumpido, ineficaz o erróneo

La cantidad de grandes constructoras con la capacidad necesaria y de proveedores de material rodante activos en el mercado, incluso a escala mundial, es bastante limitada; dependiendo del tamaño y la ubicación del proyecto, solo unas pocas empresas con calificación técnica y financiera pueden estar disponibles para participar en una licitación o estar interesadas en hacerlo. Esto puede dar como resultado una competencia limitada o incluso crear el riesgo de que no se realice ninguna oferta. Estos riesgos están presentes en un proceso tradicional de adquisiciones en el que el Gobierno adquiere servicios o bienes en el mercado, pero son incluso mayores en proyectos licitados en virtud de una APP integrada verticalmente, ya que los licitantes del sector privado deben tener mucho mayor interés en asumir nuevos riesgos en un período operativo más prolongado. En muchos casos, la falta de ofertas suficientes para un proyecto ferroviario urbano puede dar lugar a la aceptación de propuestas de baja calidad. Además, los organismos de ejecución de proyectos están expuestos al riesgo de ofertas "irresponsables" de empresas que proponen términos que saben que no podrán cumplir con el solo fin de ganar contratos con la oferta más baja. Las ofertas inadecuadas de empresas que no cuentan con la capacidad ni la experiencia técnica y financiera requeridas, o los presupuestos o términos que no cumplen con los requisitos pueden generar riesgos adicionales. Si los licitantes no participan de manera adecuada o si faltan ofertas que cumplan con los requisitos, se deberá repetir el proceso de licitación, lo que demora la ejecución del proyecto.

Varias circunstancias pueden afectar el ritmo de un proceso de licitación y hacerlo más largo y, por ende, más costoso de lo previsto. Los organismos gubernamentales de supervisión pueden cuestionar los proyectos, solicitar aclaraciones o incluso suspender los procesos de licitación. Los bancos multilaterales de desarrollo pueden no ser capaces de financiar proyectos que no siguieron un proceso de adquisiciones acorde con sus pautas y requisitos específicos. Además, los posibles licitantes pueden solicitar aclaraciones o tomar medidas legales para suspender o demorar la licitación. Por lo tanto, se debe prestar atención a diversos factores, desde las formalidades de publicación de los documentos de licitación hasta la preparación de consultas públicas. Entre las posibles medidas de mitigación para demoras en el proceso de licitación y la posible cancelación, se incluyen 1) garantizar una estructura adecuada del proyecto con suficiente tiempo para la preparación y la consulta con las partes interesadas (incluidas las entidades de financiamiento) y 2) realizar un proceso de investigación integral del mercado que incluya suficiente diálogo con el sector privado.

Riesgos inherentes al emplazamiento

Para los proyectos ferroviarios urbanos, los riesgos inherentes al emplazamiento están asociados principalmente con la disponibilidad y la calidad del suelo en el que se construirá la infraestructura. Los riesgos inherentes al emplazamiento también incluyen la posibilidad de interferencia con las redes de servicios públicos existentes (véase el capítulo 11) y la presencia de materiales peligrosos, contaminación y hallazgos arqueológicos o paleontológicos (véanse los capítulos 14 y 15). Debido a que los proyectos ferroviarios urbanos son lineales y las obras de construcción se realizan en etapas, la aparición de riesgos inherentes al emplazamiento puede generar grandes demoras y aumentos de costos (Banco Mundial, 2014).

Riesgo inherente a la adquisición de terrenos

El riesgo inherente a la adquisición de terrenos hace referencia a la posibilidad de demoras en la adquisición de terrenos para el proyecto (incluso terrenos permanentes necesarios para vías de circulación, estaciones e instalaciones complementarias, además del terreno que se necesita temporalmente para preparar la construcción). El sector público suele retener este riesgo, aunque el proceso de adquisición de terrenos se puede delegar en un socio privado o a un contratista. En sus ofertas, las empresas privadas suelen estipular la adquisición de los terrenos necesarios como una condición para la entrada en vigor del contrato. En el caso de un mecanismo de APP, este riesgo se puede mitigar asegurándose de que en el contrato se estipulen claramente las fechas en las que el organismo de ejecución del proyecto necesita que las porciones de terreno estén disponibles. Como ejemplo de mejores prácticas para una mitigación temprana de riesgos, se recomienda adquirir todos los terrenos antes de iniciar el proyecto, tal como tiene previsto hacer el Gobierno de Bogotá para la primera línea de metro de la ciudad. Otra medida de mitigación consiste en ubicar las entradas y salidas de las estaciones en terrenos públicos existentes, como parques, a fin de minimizar las compras de terrenos, tal como sucedió en el proyecto de la línea 1 del metro de Quito.

Riesgos geológicos

Las condiciones geológicas imprevistas que surgen durante las obras civiles llevan a que los organismos de ejecución de proyectos o las empresas de construcción tomen medidas que pueden incrementar el alcance del trabajo y el costo del proyecto. Estas condiciones geológicas incluyen la inestabilidad del suelo derivada de alteraciones causadas o no por el hombre y problemas como terremotos

e impactos naturales. El primer paso para gestionar los riesgos geológicos consiste en determinar la naturaleza y el posible impacto de un riesgo dado. Normalmente, el sector público, entidades privadas, o ambos, llevan a cabo estudios geológicos mucho antes de iniciar la construcción (véase el capítulo 11).

A pesar de las investigaciones geológicas, no son pocos los casos en que se presentan problemas imprevistos, lo que genera costos superiores a lo estimado y demoras. En el caso del sistema de metro de Oporto, en Portugal, se produjeron varios incidentes causados por el colapso de túneles debido a la profunda erosión del granito y la consiguiente heterogeneidad del suelo. Estas condiciones no pudieron preverse debido a una caracterización geológica insuficiente y a un diseño deficiente. En el contrato de diseño, construcción, operación y transferencia entre Metro do Porto y el contratista privado, Normetro, todo el riesgo geológico se asignó al contratista por la premisa incorrecta de que ya había información respecto de las condiciones del suelo. El contratista presentó una demanda de compensación financiera contra el organismo público ante un tribunal de arbitraje. El tribunal confirmó una compensación de aproximadamente EUR 94 millones o el 11 % del valor inicial del contrato.

Si bien resulta imposible llevar a cabo una investigación exhaustiva para descartar todas las incertidumbres, es importante definir un valor de referencia para las condiciones geotécnicas (con conclusiones específicas y claras) que se pueda usar para establecer un mecanismo de distribución del riesgo (véase el recuadro 7.3). En los presupuestos que se elaboran al inicio del proyecto se deben asignar los recursos necesarios para realizar lo que los expertos consideran un informe geotécnico, geofísico e hidrológico aceptable. No se debe pretender ahorrar dinero escatimando en el alcance de estos sondeos, porque el costo de un sondeo inadecuado suele generar costos de desarrollo del proyecto mucho mayores.

Además del informe geotécnico de referencia (IGR), otras medidas de mitigación de riesgos geológicos incluyen la realización de sondeos detallados del suelo subterráneo basados en mapas de zonas geológicas. En estos sondeos, se recopilan datos cada 30 o 40 metros (para un sistema subterráneo), se identifican las condiciones del terreno y se investigan las zonas que pueden requerir mayor atención y estudios específicos del emplazamiento.

Riesgos de interferencia de los servicios públicos

Aunque en el diseño del proyecto y en la selección del trazado generalmente se consideran los posibles conflictos físicos con redes de servicios públicos (tuberías y cables), en los proyectos ferroviarios urbanos suele producirse una interferencia no deseada. En esos casos, pueden ser necesarias obras no planificadas

RECUADRO 7.3.

Gestión de los riesgos geológicos a través de un informe geotécnico de referencia

Una práctica ampliamente aceptada en la industria de la construcción de túneles es elaborar un informe geotécnico de referencia (IGR) en el cual se definen contractualmente las condiciones subterráneas por anticipado. El IGR tiene un alcance más amplio que el estudio geotécnico tradicional. Incluye la caracterización del suelo en función de informes geotécnicos previos y define una variedad de acciones para el contratista, entre las que se incluyen limitaciones y consideraciones clave que se deben tener en cuenta en el diseño final. Un IGR mitiga el riesgo porque reduce la incertidumbre para el contratista y disminuye la probabilidad de que se generen costos superiores a los previstos (en ausencia de situaciones de fuerza mayor).

Un IGR implica elegir parámetros de costos de referencia y vincularlos con las características del suelo, estableciendo un rango de valores esperados para los parámetros, teniendo en cuenta la influencia de los métodos de construcción elegidos y estableciendo la secuencia de esos parámetros. El IGR se puede usar para establecer un costo de referencia y definir la manera en que los riesgos inherentes a la desviación de costos se asignarán y se distribuirán entre el contratista y el sector público.

En el contrato de concesión para la línea roja del sistema de transporte público de alta capacidad de Tel Aviv, se usó un IGR como referencia para distribuir el riesgo geotécnico. En cada hito de construcción, las condiciones del IGR se compararon con las condiciones reales (informadas por el concesionario). Las diferencias generaron pagos a favor del organismo de ejecución del proyecto o del concesionario, y las disputas se presentaron ante un panel para su resolución.

para reubicar o proteger la red de servicios públicos, lo que ocasiona mayores costos y demoras. Las redes de servicios públicos antiguas suelen estar inadecuadamente identificadas y, por ende, se presentan sorpresas aunque se realicen buenos sondeos para identificar los servicios públicos existentes.

Los riesgos y los costos se reducirán mediante inversiones importantes en investigación y datos satisfactorios sobre la ubicación de servicios públicos, así como con una coordinación cuidadosa entre el Gobierno o ente regulador, las empresas de servicios públicos y los organismos de ejecución de proyectos. Antes de licitar el proyecto, es muy importante contar con buena información sobre los servicios públicos. Tener más información permite elaborar mejores medidas de mitigación (tanto para el sector privado como para el público). Para mitigar eficazmente los riesgos, también es importante que el organismo de ejecución del proyecto tenga buenos canales de comunicación con las empresas de servicios públicos, que pueden ver el proyecto como una oportunidad para financiar la

construcción de recorridos alternativos de la red. Además, se necesitan estudios de ingeniería para determinar la ubicación de líneas de telecomunicaciones, gas y agua (y otros servicios públicos). Se necesita un estudio específico de identificación de servicios públicos para minimizar la interferencia del proyecto (véase también el capítulo 11).

Riesgos de hallazgos imprevistos de patrimonio cultural

Los descubrimientos imprevistos de patrimonio cultural (restos arqueológicos, paleontológicos y construcciones históricas) pueden generar demoras en la construcción y ocasionar mayores costos cuando, debido a ellos, se deben volver a evaluar los planes de elaboración y el cronograma de construcción de un proyecto. Específicamente, estos hallazgos pueden requerir un cambio en el trazado del proyecto, obras adicionales para preservar o reubicar los hallazgos, o la suspensión de las obras para poder examinar y documentar los hallazgos de manera adecuada. Profesionales capacitados deben evaluar los hallazgos en la zona del proyecto y analizar los riesgos inherentes a la excavación. El riesgo de hallar patrimonio cultural es relativamente más alto en ciudades muy pobladas con una larga tradición y años de historia o en zonas designadas como Sitios del Patrimonio de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Si mediante los servicios profesionales se llega a la conclusión de que hay un riesgo importante en la zona, los organismos de ejecución de proyectos deben solicitar la realización de mapas o evaluaciones arqueológicas, incluyendo pruebas de excavación como parte de las actividades de preparación del proyecto. Estos mapas pueden ayudar a determinar las zonas donde se debe evitar hacer excavaciones o donde se las debería realizar a mayor profundidad para no alterar sitios del patrimonio que se encuentran cerca de la superficie. Este riesgo se puede gestionar e incluso distribuir parcialmente con contratistas privados y concesionarios, si existe una base sólida de riesgos. En el capítulo 14 se analizan las mejores prácticas en lo que respecta a la gestión del patrimonio cultural y otros impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos.

Riesgos relacionados con el diseño, la construcción y la puesta en servicio

Comenzando en la etapa de diseño, los organismos de ejecución de proyectos y los gerentes de proyectos deben considerar la posibilidad de identificar todos los riesgos que se podrían materializar durante el diseño, la construcción y la puesta en servicio. La evaluación detallada de estos riesgos es fundamental para asignarlos correctamente.

Riesgos inherentes al diseño

Los riesgos inherentes al diseño pueden generar costos superiores a los previstos y demoras en las obras civiles. Las fallas en el diseño de proyectos o las modificaciones realizadas después de comenzada la construcción (por el organismo público o por el socio privado) son ejemplos de este tipo de riesgos. Para satisfacer los requisitos contractuales o cumplir con las leyes, la parte que asume responsabilidad por el diseño generalmente asume el riesgo de los errores que surjan en esta etapa y que pudieran ocasionar el fracaso del proyecto. Se debe especificar el riesgo de errores o cambios en el diseño, vicios ocultos y en relación con la expectativa de vida de los activos, y se deben asignar las responsabilidades pertinentes. Si el otorgante requiere variaciones, suele asumir el riesgo y los posibles costos (Mandri-Perrott y Menzies, 2010). Una manera de mitigar algunos de estos riesgos es asegurarse de que en los diseños de ingeniería se incluyan pruebas en el terreno y se indiquen especificaciones detalladas de los componentes. Otra manera es transferir el riesgo inherente al diseño al contratista o concesionario, luego de revisar la adecuación del diseño del propietario.

Otro enfoque consiste en hacer que un tercero independiente revise la viabilidad de la construcción y la operabilidad del diseño del proyecto, y llevar a cabo el análisis de ingeniería de valor (IV) para mejorar el proyecto antes de la licitación (véase el capítulo 6). Es poco común que se lleve a cabo la revisión por parte de terceros debido a la falta de fondos, pero es muy recomendada. Estas medidas tendientes a optimizar los proyectos se deben llevar a cabo utilizando una estructura de costos durante el ciclo de vida; de lo contrario, las optimizaciones de diseño que permiten ahorrar costos de capital al inicio del proceso pueden ocasionar un incremento de los costos futuros de operación y mantenimiento (O&M) del proyecto. El organismo de ejecución del proyecto, con el asesoramiento de expertos externos y un "operador en la sombra", deberá evaluar cuidadosamente esas alternativas.

Riesgos inherentes a la construcción

Los riesgos inherentes a la construcción se refieren a la posibilidad de que los costos o el tiempo de construcción superen las proyecciones originales. Este riesgo está generado por sucesos que requieren insumos adicionales para la construcción (más materiales y mayor tiempo de ejecución) o que generan un aumento de los precios de estos insumos. En esta categoría se incluyen los métodos de construcción inadecuados, la planificación defectuosa, la gestión ineficaz del proyecto y del cronograma, y el desempeño deficiente o la negligencia por parte del constructor. La selección cuidadosa de un constructor experimentado es la manera más eficaz de mitigar este tipo de riesgos.

Por lo general, el riesgo inherente a la construcción se transfiere a un constructor (un contratista privado en una adquisición tradicional o un socio privado o concesionario y sus subcontratistas en una APP). La eficiencia y eficacia de esta transferencia del riesgo depende de muchos factores, como la capacidad financiera y técnica de la última parte que asume el riesgo, la delimitación clara de las responsabilidades en el contrato y un sólido paquete de seguridad para las obligaciones asumidas por los contratistas y subcontratistas. Este paquete de seguridad puede consistir en garantías bancarias incondicionales, fianzas de buena ejecución y retención de efectivo. Para las APP, el paquete de seguridad es fundamental para cualquier análisis de asignación de riesgos. En este caso, incluso aunque la parte responsable en última instancia sea el socio privado o concesionario, la garantía entregada a la autoridad de otorgamiento en virtud del acuerdo de APP tiene que estar respaldada por las condiciones y la garantía que se establecen en los contratos entre el socio privado y sus contratistas o subcontratistas, y se debe garantizar la adecuación de estas partes.

Además de estos factores, los desvíos del tráfico y los cierres de calles requeridos durante la construcción representan riesgos y demoras adicionales. La gestión del tráfico se debe planificar cuidadosamente durante la construcción. Esta responsabilidad se suele transferir al contratista, mientras que el sector público retiene las responsabilidades de supervisión y coordinación (véase el capítulo 11). Por ejemplo, el concesionario de la línea 2 del metro de Lima es contractualmente responsable de formular planes específicos de gestión del tráfico que han sido revisados y aprobados por el organismo de ejecución del proyecto.

La materialización de otros riesgos inherentes al diseño y al emplazamiento descritos en este capítulo (por ejemplo, adquisición de terrenos, interferencia con los servicios públicos, hallazgos geotécnicos o de patrimonio cultural, y otros impactos sociales y ambientales) también puede generar demoras en la construcción y costos superiores a los previstos. Dada la alta incidencia y el impacto en los proyectos ferroviarios urbanos (sobre todo los construidos de manera subterránea), esos otros riesgos se deben evaluar de manera independiente en el momento de identificar y evaluar riesgos en un registro de riesgos.

Riesgo de accidentes

Los accidentes durante la construcción pueden afectar al desarrollo de la infraestructura del proyecto, al personal o incluso a terceros, y causar demoras y aumento de costos. El riesgo de accidentes se puede mitigar exigiendo a los contratistas que adopten buenas prácticas en materia de medio ambiente, salud y seguridad, entre las que se incluyen buenas prácticas de construcción, el uso de equipos de seguridad y planes adecuados de evacuación que se sometan a prueba frecuentemente (véase el capítulo 15). Entre las medidas

más usadas para mitigar el riesgo de accidentes se incluye la implementación de un sistema de supervisión rigurosa y la aplicación de medidas de seguridad; la creación e implementación de un sistema de alertas, y la regulación estricta por parte del Gobierno de los problemas ambientales, de salud y de seguridad.

Riesgos sociales y ambientales

Los riesgos sociales y ambientales pueden afectar la ejecución del proyecto y generar costos y demoras adicionales, e incluso causar el fracaso del proyecto. Algunos de los eventos de riesgo más comunes incluyen demoras en la obtención de autorizaciones ambientales; costos adicionales necesarios para gestionar impactos ambientales y sociales imprevistos o para hacer frente a impactos identificados que no se gestionan adecuadamente, así como costos adicionales relacionados con la compensación por incumplimiento de las normas ambientales y sociales.

El impacto ambiental y social incluye ruidos, contaminación del aire y del agua en la zona que rodea al emplazamiento del proyecto, desplazamiento económico y físico de poblaciones, impactos en el patrimonio cultural y otros impactos a corto y largo plazo sobre los trabajadores y las comunidades locales. La manera más eficaz de mitigar estos riesgos es invertir en evaluaciones del impacto ambiental y social y planes de gestión, y destinar recursos suficientes a la supervisión y ejecución de esos planes (véanse los capítulos 14 y 15). Las actividades de gestión de riesgos ambientales y sociales son fundamentales para garantizar el éxito de los proyectos, y los organismos de ejecución de proyectos no deben subestimar su importancia ni considerarlas solamente un requisito para obtener permisos.

Riesgos de interfaces

Dada la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos, los problemas de interfaces son una fuente importante de riesgos para los proyectos. Los proyectos ferroviarios urbanos constan de varias etapas de desarrollo (por ejemplo, diseño, construcción y O&M) y componentes o subproyectos (por ejemplo, obra civil, equipos, sistemas y material rodante) (véase el capítulo 5). Estas etapas y estos componentes deben interactuar sin problemas para que el proyecto sea exitoso y a veces se deben ejecutar de manera simultánea debido a interdependencias físicas y operacionales. Los riesgos de interfaces hacen referencia a los problemas que surgen a raíz de la incompatibilidad entre diferentes etapas o componentes que son ejecutados o supervisados por diferentes entidades (por ejemplo, empresas de ingeniería, contratistas y organismos públicos). Mientras más componentes y entidades haya, mayor será la probabilidad de que surjan

problemas de interfaces. Este tipo de riesgos se origina en distintas situaciones entre las que se incluye la planificación inadecuada de la integración entre las diferentes etapas o los diferentes componentes; modificaciones en los contratos para ejecutar una etapa o un componente que tienen consecuencias en otros contratos cuyos organismos de ejecución no reconocen ni abordan, y la delimitación poco clara de las responsabilidades de integración en contratos celebrados entre varias entidades.

Se plantean posibles riesgos de interfaces dentro de la misma etapa de elaboración del proyecto, entre diferentes etapas y entre componentes. Por ejemplo, los sistemas de señalización se pueden diseñar para proporcionar una capacidad máxima de servicio específica, pero si la geometría de las vías no es compatible con esas velocidades y frecuencias, es posible que el sistema se vea afectado por limitaciones operacionales a largo plazo (véase el capítulo 5). Por último, si los componentes del proyecto son supervisados por diferentes organismos o provienen de diferentes contratistas o proveedores, existe el riesgo de que no funcionen bien juntos. Por ejemplo, la entidad a cargo de la operación puede adquirir material rodante que no sean compatibles con las vías férreas o los andenes de las estaciones (véase el recuadro 7.4).

Otra faceta del riesgo de interfaz se relaciona con las posibles dificultades que surgen de la expansión o actualización de los sistemas ferroviarios urbanos existentes. En dichos proyectos, la operación y la construcción del proyecto deben coexistir, y se necesitan mecanismos especiales para coordinar estas actividades. Una deficiente integración de la nueva construcción y posterior operación puede ocasionar pérdidas y demoras en ambos frentes.

Los organismos de ejecución de proyectos deben identificar todas las formas de riesgos de interfaces e implementar estrategias de mitigación, como la transferencia de algunos de estos riesgos a terceros. El organismo de ejecución puede optar por externalizar la elaboración de todos los componentes del proyecto a una única parte mediante un contrato integrado llave en mano. En este caso, el licitante ganador puede decidir luego hacer directamente una parte de este trabajo (por ejemplo, las obras civiles) y subcontratar las demás partes (por ejemplo, el suministro y la instalación de sistemas electromecánicos y la fabricación del material rodante), reteniendo la responsabilidad de coordinar los diferentes insumos. De manera similar, en un contexto de APP, el organismo puede transferir el riesgo mediante un contrato verticalmente integrado en el que se exija que el socio privado sea responsable de todas las funciones y todos los componentes del proyecto, así como de su integración (véase el capítulo 9). Sin embargo, el hecho de que el riesgo de interfaz se transfiera a un tercero no hace que este riesgo desaparezca. El organismo de ejecución del proyecto puede suscribir un

RECUADRO 7.4.

Problemas de interfaces: red de Ferrocarriles Expresos Regionales, Francia

El operador de la Red de Ferrocarriles Expresos Regionales de Francia, la Sociedad Nacional de Ferrocarriles Franceses (SNCF), encargó más de 300 trenes (2000 vagones en total) cuyo diseño debía ser más amplio que el de los trenes existentes para poder satisfacer la mayor demanda y cumplir con las solicitudes de los usuarios de mayor comodidad (Hurst, 2014) (véase la imagen B7.4.1). Cuando comenzó la entrega de los trenes, la SNCF descubrió que los trenes eran demasiado anchos y que no cabían en muchos de los andenes (1300 de las 8700 de la red) o no permitían que un tren adelantara a otro en líneas adyacentes en determinadas ubicaciones. Cuando se descubrió el error, era demasiado tarde para modificar las especificaciones de los trenes y esto dio como resultado más de EUR 50 millones de costos adicionales para modificar los andenes en una de cada seis estaciones de la red ferroviaria francesa, las vías y los equipos relacionados para adaptarlos a los nuevos trenes (Hurst, 2014; Samuel, 2014).

La incompatibilidad entre los componentes se debió a la falta de coordinación y de comunicación entre las entidades a cargo de la infraestructura y el material rodante. La SNCF solicitó al propietario de la infraestructura ferroviaria, la empresa de redes ferroviarias francesas (Réseau Ferré de France o RFF) que presentara las especificaciones de las dimensiones de los andenes. La RFF presentó las dimensiones estándar para las estaciones construidas después de mediados de la década de 1980 pero no tuvo en cuenta que muchas estaciones de la red se construyeron antes de que la norma entrara en vigor. Las estaciones más antiguas eran más angostas y solo podían brindar servicio a trenes más pequeños. La SNCF no verificó las dimensiones y encargó los trenes de acuerdo con el nuevo estándar provisto.

Aunque la SNCF anteriormente estaba a cargo de la infraestructura ferroviaria y la operación, en 1997 sus activos de infraestructura se transfirieron a la recientemente creada RFF, que quedó a cargo del mantenimiento de la red ferroviaria y las estaciones. Esta separación entre infraestructura y operaciones generó un riesgo de interfaz que, sin los debidos canales de comunicación para mitigar el riesgo, dio lugar a la necesidad de realizar costosas modificaciones en la red ferroviaria.

IMAGEN B7.4.1. Material rodante Bombardier B82500 operado por la SNCF en su servicio de Tren Expreso Regional (TER)

Fuente: Renaud Chodkowski a través de Flickr Commons.

contrato con un desarrollador que, a su vez, tenga varios subcontratistas que no interactúan entre sí. Por lo tanto, en los contratos se debe aclarar específicamente que estos subcontratistas deben trabajar juntos y probar las interrelaciones entre los componentes de manera conjunta. Siempre que sea posible, el organismo debe celebrar contratos o acuerdos integrados que incluyan específicamente la gestión de las interfaces como parte de las obligaciones del contratista o socio privado.

En proyectos en los que los organismos de ejecución externalizan los componentes del proyecto por separado, el riesgo de interfaz se puede mitigar mediante la contratación de un especialista en integración de proyectos (por lo general, un consultor) que se ocupe de que no surjan problemas en la integración de obras civiles, sistemas y material rodante. Desde el comienzo del proyecto debe haber una parte que se ocupe de la integración.

Independientemente del modelo de adquisiciones elegido, el organismo de ejecución del proyecto debe tener un gestor de interfaces que supervise el proceso de integración y que se ocupe de la planificación y la gestión de los impactos que los cambios en un componente generan sobre los demás componentes. El gestor de interfaces utiliza herramientas, como la matriz de interfaces, para registrar las interconexiones entre los componentes del proyecto (véase el cuadro 7.4).

Riesgos operacionales

Los riesgos operacionales son los que se materializan después del comienzo de la operación del transporte ferroviario urbano. En esta sección se analizan cuatro tipos fundamentales de riesgos operacionales: riesgo de demanda, riesgo tarifario, riesgo de fraude y riesgo relacionado con la operación y el mantenimiento[5]. Aunque los riesgos operacionales solo se materializan después de la construcción, es importante identificarlos y gestionarlos desde el principio del proyecto y contar con la intervención del operador real del proyecto (público o privado) o un operador en la sombra desde las primeras etapas del proyecto. Es necesario que el operador aporte información antes del comienzo de la operación para establecer los requisitos para las pruebas y la puesta en servicio, definir los parámetros de O&M, evitar problemas de interfaces entre los componentes y garantizar que la planificación, el diseño y la construcción respalden las operaciones a largo plazo del sistema.

Riesgo de demanda

El riesgo de demanda se relaciona con la posibilidad de que la cantidad real de pasajeros del sistema ferroviario urbano sea diferente de lo que se previó originalmente. En muchos casos, los proyectos ferroviarios urbanos comienzan

CUADRO 7.4. Ejemplo de parte de una matriz de interfaces entre contratos de componentes de estructuras y contratos de señalización en la sección Gouda-Alphen de la línea Rijn Gouwe: Países Bajos

	PRINCIPALES COMPONENTES DEL CONTRATO DE SEÑALIZACIÓN														
	SEGURIDAD		CONTROL					CRUCES			INFRAESTRUCTURA SUBTERRÁNEA				
PRINCIPALES COMPONENTES DEL CONTRATO DE ESTRUCTURAS	SALA DE EQUIPOS DE SEÑALIZACIÓN	SEÑALIZACIÓN	CAJAS DERELÉS	SEÑALES Y BALIZAS	CONEXIÓN CON EL CONTROL DEL TRÁFICO	SISTEMA DE ATC	CAJAS DE CONEXIÓN DE DESVÍOS	CRUCES PEATONALES	CRUCE A NIVEL (GOUDA)	MBA	OBRAS DE CABLEADO Y TUBERÍAS	TELECOMUNICACIONES	CABLEADO PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA DE 3 VOLTIOS	SUMINISTRO DE ENERGÍA DE 1500 VOLTIOS	CABLE DE FIBRA ÓPTICA
Riel															
Vías			■								■	■	■	■	■
Preparación del suelo requerida															
Montículo para las cajas derel és			▪												
Protección															
Durmientes															
Estructuras (puentes, túneles)											■	■	■	■	■
Estructura ferroviaria											▪	▪	▪	▪	▪
Estructuras no ferroviarias															
Sistemas de guiado															
Ferrocarril								■	■	■					
Controles de agujas							■								
Sistema calefactor de desvíos							■								
Suministro de energía															
Guía de descarrilamiento															
Pisos en calzadas elevadas															
Suministros para vías (como señales)															
Cruces a nivel con MBA											■				
MBA para peatones											▪				

Fuente: Adaptado de Couwenberg, 2015.
Nota: Se pueden usar diferentes colores en las celdas para indicar la magnitud o el nivel de interacción entre los diferentes componentes. MBA = media barrera automática; ATC = control automático de trenes.

la operación con un nivel de demanda inferior al que se estimó en un principio (Flyvbjerg, 2007). El riesgo de demanda también se presenta cuando la cantidad de pasajeros supera las proyecciones y el sistema ferroviario urbano no puede absorberla. Esto sucede en la línea 1 del metro de Lima, donde el operador tuvo que regular el acceso a las estaciones debido a niveles insuficientes de capacidad y servicio. Esto dio como resultado la pérdida de potenciales ingresos y del costo de oportunidad para la sociedad debido a los viajes que no pudieron realizarse.

Las estimaciones de la demanda son complejas y están sujetas a errores y a la tendencia al optimismo. Para realizarlas, se deben usar los mejores métodos analíticos y datos disponibles; luego, se deben someter a la revisión de terceras partes imparciales y, de ser posible, se deben cotejar con sistemas comparables del país o la región. Las situaciones que son imposibles de anticipar al momento de la previsión pueden hacer que incluso los cálculos más precisos sean erróneos; por lo tanto, las proyecciones de la demanda deben estar acompañadas por análisis de la incertidumbre (véase el capítulo 3).

Aunque las estimaciones sean sólidas y se haya establecido un nivel adecuado de demanda inicial, la cantidad de pasajeros es volátil y, con el tiempo, puede verse afectada por cambios en la actividad económica y en los cambios demográficos. El número de pasajeros también puede verse afectado por acciones o falta de acción del organismo de ejecución del proyecto o el Gobierno correspondiente (como la integración del proyecto con otras modalidades de transporte que conforman el sistema de transporte urbano, la programación del servicio, las estructuras tarifarias y la política de uso del suelo) (Siemiatycki y Friedman, 2012). Por lo tanto, el diseño del proyecto y las intervenciones normativas de respaldo deben apuntar más estrictamente a las causas de la insuficiencia en la demanda. Para ello, se debe incorporar la integración entre modalidades, limitar el desarrollo de sistemas competidores y evitar cambios innecesarios o ilógicos en las tarifas.

La integración deficiente con otras modalidades de transporte es un motivo común por el cual la demanda suele ser inferior a la prevista, tal como sucedió inicialmente con el proyecto del sistema de transporte masivo de Bangkok (STB). Es posible que no se produzca la integración debido a la presión ejercida por los operadores de autobuses existentes o a deficiencias en la coordinación normativa con otras jurisdicciones a cargo de otras modalidades de transporte. Por lo tanto, el riesgo de demanda puede estar estrechamente vinculado con otras formas de riesgo institucional y político. Un número de pasajeros inferior al previsto también puede deberse a niveles tarifarios inasequibles, especialmente en segmentos de la población de ingreso bajo (véase el capítulo 2). La predisposición a pagar de los diferentes grupos sociodemográficos se debe estudiar

adecuadamente en la etapa de factibilidad del proyecto y se debe revisar periódicamente durante la operación del sistema.

Muchas decisiones en materia de gestión y desarrollo del transporte metropolitano en general impactan sobre el número de pasajeros del transporte ferroviario urbano más que los pequeños cambios en el servicio; por lo tanto, la capacidad del operador privado de asumir el riesgo de demanda suele estar limitada por su menor capacidad de influir sobre el número de pasajeros. Sin embargo, compartir el riesgo de demanda con un socio privado (incluso en una fracción pequeña) es posible y hasta conveniente. En proyectos de APP, el riesgo de demanda se puede gestionar hasta cierto punto al incluir condiciones contractuales que permitan vincular una parte de la remuneración del socio privado con la cantidad de pasajeros del sistema, lo cual incentiva al operador a maximizar la demanda. Algunos proyectos de APP incorporan mecanismos para distribuir el riesgo de demanda que, además de proteger al socio privado y a las entidades de financiamiento de las caídas de la demanda por debajo de las proyecciones, también brindan incentivos para que el socio privado aumente la cantidad de pasajeros (véase el recuadro 7.5).

RECUADRO 7.5.

Gestión del riesgo de demanda en un contexto de APP: línea 4 del metro de São Paulo y línea de Vancouver (Canadá)

Línea 4 del metro: São Paulo (Brasil)

La primera fase de la línea 4 del metro de São Paulo se terminó en 2010 e incluía 8,9 kilómetros de nueva infraestructura ferroviaria. Conforme a los términos de la asociación público-privada (APP), el socio privado tiene el derecho de operar la línea por un período de 30 años y tiene derecho a percibir ingresos tarifarios, la venta minorista y la publicidad, así como también pagos del Gobierno del estado de São Paulo.

Se previó que, al momento de terminar la primera fase, la cantidad de pasajeros de referencia sería superior a 700 000 por día. Habida cuenta de que los ingresos del operador privado dependían en gran medida de este nivel de pasajeros, el socio privado y el financiador necesitaban un mecanismo eficaz de mitigación de riesgos. El contrato establecía bandas de cantidad de pasajeros creadas a partir de la demanda de referencia prevista. Si la demanda cae por debajo de la banda de referencia, el Gobierno compensa al socio privado. Si la demanda supera la banda de referencia, el Gobierno recibe una parte de las ganancias adicionales. Las tres bandas de demanda eran las siguientes:

1. 90 % a 110 % de la demanda de referencia: no se requiere compensación.
2. 60 % a 140 % de la demanda de referencia: el Gobierno compensa al socio privado si la demanda es inferior a la referencia, y el Gobierno y el socio privado comparten los ingresos si la demanda supera la referencia.

(El recuadro continúa en la página siguiente.)

RECUADRO 7.5.

Gestión del riesgo de demanda en un contexto de APP: línea 4 del metro de São Paulo y línea de Vancouver (Canadá) *(continuación)*

3. Desviación de la demanda de referencia por debajo del 40 % y por encima del 140 %: los términos del contrato se renegocian.

Línea de Canadá: Vancouver (Canadá)

Cuando se asignaron los riesgos para el acuerdo de concesión de la línea de Canadá, el organismo de ejecución del proyecto decidió que la autoridad regional de transporte (TransLink) sería la más apta para afrontar y gestionar los riesgos de demanda e ingresos, debido al impacto de las decisiones de la autoridad metropolitana de transporte sobre la cantidad de pasajeros del sistema. Esto significaba que TransLink gestionaría los riesgos y absorbería los costos resultantes de las decisiones de planificación que podrían afectar la demanda o la eficiencia del sistema. También significaba que TransLink recibiría todos los ingresos tarifarios y realizaría pagos fijos al concesionario. Para lograr la convergencia entre una parte de los intereses del concesionario y los objetivos de TransLink relacionados con la cantidad de pasajeros, el contrato de la línea de Canadá vinculaba el 10 % de la remuneración del concesionario con la cantidad de usuarios. El cálculo de la remuneración del concesionario implica una estimación de la cantidad de pasajeros de referencia (excluyendo los viajes al aeropuerto), un pago acordado por volumen de referencia y una tarifa en la sombra (o estimada) acordada por usuario que pague.

Este esquema tiene tres posibles escenarios de pago:

- Si la cantidad de pasajeros es igual a la prevista, el concesionario recibe el pago por volumen de referencia.
- Si la cantidad de pasajeros supera la prevista, el concesionario recibe el pago por volumen de referencia más la diferencia entre la cantidad de pasajeros real y prevista, multiplicada por la tarifa en la sombra acordada.
- Si la cantidad de pasajeros es menor a la prevista, el concesionario recibe el pago por volumen de referencia menos la diferencia entre la cantidad de pasajeros prevista y la real, multiplicada por la tarifa en la sombra acordada.

Un grupo de consultores independientes preparó el estudio de cantidad inicial de pasajeros de la línea de Canadá, que sentó las bases para estimar la cantidad de pasajeros de referencia por la que se recibe un pago del sistema. Sin embargo, en el contrato de la línea de Canadá se especificaban revisiones automáticas de esta estimación al comienzo del servicio, dos años después del comienzo del servicio y, luego, cada cinco años. Además, tanto la autoridad regional de transporte como el concesionario pueden solicitar una reevaluación de las estimaciones si ocurre alguno de los siguientes eventos: cambia el plan de servicio del sistema; los planificadores amplían servicios agregando estaciones en la ruta existente; se producen cambios en los servicios de autobuses; se producen cambios en las iniciativas de gestión de la demanda de tráfico de la región (por ejemplo, cambios en el precio o peaje de las carreteras); TransLink aumenta las tarifas más del 5 % (en términos reales) sobre la tarifa promedio durante los cinco años anteriores; se producen otros cambios importantes en la estructura tarifaria del sistema, o la cantidad promedio de pasajeros en horas pico de la mañana durante un período de tres meses supera un determinado nivel cercano a la capacidad diseñada máxima del sistema.

Fuentes: Leipziger y Lefevre, 2015; Mandri-Perrott y Menzies, 2010.

Riesgo tarifario

El plan financiero de un proyecto ferroviario urbano (cuando es operado por un organismo público) puede verse afectado negativamente por el establecimiento de tarifas iniciales o por cambios en las políticas en relación con la determinación de los niveles tarifarios. Cuando un proyecto se elabora en el contexto de una APP en la que el operador privado retiene parte del riesgo relacionado con los ingresos (o el riesgo de demanda), los cambios en las tarifas pueden perjudicar la sostenibilidad económica del proyecto.

Los Gobiernos deben reservarse cierta flexibilidad para actualizar la política de tarifas de acuerdo con las circunstancias sociales, pero también deben reconocer que cualquier desviación considerable podría afectar la sostenibilidad financiera del sistema. En el caso de una estructura de APP, se debe incluir un mecanismo adecuado en el contrato que permita volver a lograr el equilibrio financiero indemnizando al socio privado por dichos cambios (por ejemplo, definir la tarifa técnica o el "pago por usuario", independientemente del nivel real de tarifa que los usuarios deben pagar).

Riesgo de fraude

La evasión del pago de la tarifa, también conocida como fraude, es otro problema que puede afectar seriamente el equilibrio financiero del proyecto. La posibilidad de fraude, incluido el tipo y el costo de las medidas necesarias para mitigar o gestionar ese fraude, se debe considerar en la etapa de diseño. Estas medidas se deben incorporar al plan financiero del proyecto independientemente del modelo de ejecución que este adopte. Si el riesgo de demanda es retenido principalmente por el sector público (por ejemplo, cuando los pagos al operador de la APP se basan en la disponibilidad y solo marginalmente en la demanda) y el socio privado no obtiene un incentivo adecuado para destinar recursos al control del fraude, pueden surgir conflictos. En esos casos, los requisitos específicos del servicio y los pagos o incentivos asociados se deben incorporar en el contrato.

Riesgos relacionados con la operación y el mantenimiento

Estos riesgos hacen referencia a problemas que afectan la operación de los activos existentes y nuevos del transporte ferroviario urbano y su mantenimiento según las normas requeridas (Mandri-Perrott y Menzies, 2010). Si bien solo pueden presentarse después de la construcción, es importante identificarlos y formular una estrategia de gestión de manera temprana, idealmente durante la planificación del proyecto. Estos riesgos surgen de situaciones que demandan actividades adicionales (no estimadas previamente) relacionadas con la operación y el mantenimiento.

Los riesgos inherentes al mantenimiento provienen de la falta de presupuestos adecuados para realizar las tareas de mantenimiento rutinarias, periódicas y de envergadura necesarias para reparar instalaciones, sistemas y material rodante, o de la falta de ejecución de dicho mantenimiento. Los sistemas que no poseen financiamiento suficiente para cubrir los costos de mantenimiento y de reemplazo de activos están particularmente expuestos a este riesgo. Desde el punto de vista operativo, la principal fuente de riesgos de explotación es la volatilidad en los precios de algunos insumos, como los costos de mano de obra y energía, y la incapacidad de realizar los servicios programados.

Es importante establecer una definición clara de lo que implica el mantenimiento normal y de rutina, además de las tareas adicionales que puedan ser necesarias como resultado de defectos de construcción o de la definición inadecuada del alcance del mantenimiento. Los defectos de diseño y de construcción pueden requerir intervenciones de mantenimiento considerables, costosas y complicadas o aumentar ostensiblemente los costos de mantenimiento a largo plazo. Por este motivo, el operador debe conocer muy bien las condiciones de la infraestructura y de los sistemas antes de asumir cualquier responsabilidad operativa.

La asignación de riesgos de explotación y los enfoques para su gestión dependen de la decisión de contar con un operador público o privado. Para un sistema nuevo en una región metropolitana o en un país con limitada experiencia en lo relativo al transporte ferroviario, la introducción de un nuevo operador público puede ser una tarea de grandes magnitudes para la cual se deben crear parámetros y manuales de O&M, capacitar el personal y obtener asesoramiento inicial de un operador experimentado (véase el capítulo 12). En el caso de una APP o una concesión, el socio privado o concesionario asume la mayoría de las responsabilidades y los riesgos de explotación.

Sin embargo, incluso aunque el operador sea privado, el riesgo de que se produzcan retrasos en el mantenimiento puede ser alto si esto no se estipula adecuadamente en el contrato y si la autoridad otorgante o el ente regulador no lo supervisan debidamente (por ejemplo, exigiendo la presentación de planes de renovación periódicos y el establecimiento de un fondo de reserva para este fin). Un enfoque cada vez más común y que brinda un marco natural para garantizar el desempeño adecuado de las actividades de O&M es el establecimiento de sistemas de pago basados en la disponibilidad y la calidad (es decir, que haya una prestación eficaz del servicio, conforme a determinados estándares). Vincular los pagos al operador con la calidad y la disponibilidad fomenta el mantenimiento preventivo, pero para esto, se deben definir los indicadores adecuados de desempeño que la APP o la autoridad que otorga la concesión pueda medir y supervisar (véase el capítulo 9).

Independientemente del modelo adoptado para la ejecución del proyecto, algunas de las medidas de mitigación más usadas para los riesgos inherentes a la O&M incluyen contar con la intervención del operador real del proyecto o un "operador en la sombra" en las primeras etapas tempranas de desarrollo del proyecto, formular normas detalladas de desempeño para las actividades de O&M y los indicadores conexos, y contratar empresas especializadas en supervisión para que observen la operación. La mejor manera de mitigar los riesgos inherentes a la O&M en las primeras etapas de desarrollo del proyecto es adoptar un enfoque a largo plazo con respecto al costo del ciclo de vida para evitar pensar solamente en la construcción y desatender la sostenibilidad de la operación.

Transferencia de riesgos a través de una APP

La capacidad para transferir riesgos a la parte más apta para gestionarlos es una de las principales justificaciones para contar con la intervención de socios privados en los proyectos de infraestructura. Aparte de las consideraciones relativas a la eficiencia en función de los costos en la elaboración y la ejecución del proyecto y la posibilidad de movilizar financiamiento comercial y fomentar la innovación, la participación privada se suele reconocer como una manera de aliviar la presión que ejercen los riesgos importantes del proyecto sobre el sector público. Algunos riesgos, de hecho, se gestionan mejor a través de un socio privado. Sin embargo, es importante recordar que los socios privados cobrarán una prima por asumir estos riesgos y que el sector público se encuentra en mejores condiciones para retener y gestionar algunos de ellos. En el cuadro 7.5 se brinda una ilustración práctica de la asignación general de riesgos llevada a cabo en varios proyectos de metro de América Latina y en Turquía. Aunque no se muestran las especificidades y el grado de compartición o transferencia del riesgo, sí se presentan las responsabilidades generales tal como están establecidas en el contrato. En el capítulo 9 se incluye un análisis más profundo de la asignación de riesgos en el caso de las APP.

El riesgo se puede transferir de manera total o parcial a un socio privado incluso en un proyecto complejo como una APP de transporte ferroviario urbano. Sin embargo, para distribuir y transferir el riesgo, se debe desarrollar un sólido valor de referencia que pueda ayudar a establecer el alcance de los riesgos asumidos por las diferentes partes (véase el recuadro 7.6). Además, para que los beneficios de la transferencia del riesgo se materialicen, el socio público debe tener la capacidad necesaria para gestionar y hacer cumplir los contratos con socios privados que suelen tener más experiencia, mejor información y más recursos.

CUADRO 7.5. Asignación general de riesgos para proyectos ferroviarios urbanos recientes en América Latina y Turquía

RIESGO	LÍNEA 1 DEL METRO DE QUITO	LÍNEA 1 DEL METRO DE PANAMÁ	LÍNEA 1 DEL METRO DE LIMA	LÍNEA 2 DEL METRO DE LIMA	LÍNEA 4 DEL METRO DE SÃO PAULO	LÍNEAS 6 Y 18 DEL METRO DE SÃO PAULO	M4 Y M7 DEL METRO DE ESTAMBUL
Riesgo inherente a la construcción	Público	Privado (contrato de EPC)	Público	Privado	Público-privado (contrato de EPC para obras civiles)	Privado	Privado
Riesgo de demanda	Público	Público	Público	Público	Público-privado	Público-privado	Público
Riesgo operacional	Por determinar	Público	Privado	Privado	Privado	Privado	Público
Riesgo de interfaz	Público (mitigado por un CSGP)	Privado (contrato único con integración)	Público-privado	Privado	Público	Privado	Público-privado
Riesgo geológico	Público	Público-privado	Público	Público	Público-privado	Público-privado	Público-privado

Nota: EPC = ingeniería, adquisición y construcción; CSGP = consultor de supervisión de la gestión de proyectos.

RECUADRO 7.6.

Desarrollo de una matriz de riesgos para un proyecto de APP: líneas 6 y 18 de São Paulo (Brasil)

Aunque el estado de São Paulo sabía que un proyecto de APP implicaba una asignación de riesgos razonable y eficaz entre socios públicos y privados, no contaba con una metodología y un proceso para incorporar el análisis de riesgos en sus procedimientos de evaluación y debida diligencia. Mediante un servicio de asesoría reembolsable contratado por el estado, el Banco Mundial introdujo una metodología de evaluación y cuantificación de riesgos como parte de la evaluación de las propuestas del proyecto de APP.

En primer lugar, el Banco Mundial ayudó al estado a identificar los riesgos clave del proyecto durante la licitación, el diseño, la construcción y la operación, y a desarrollar una matriz de riesgos. Cuando la matriz de riesgos estuvo preparada, el equipo del Banco Mundial facilitó una evaluación de riesgos colaborativa basada en la metodología del taller de riesgos (también conocida como panel de expertos) implementada por

(El recuadro continúa en la página siguiente.)

RECUADRO 7.6.

Desarrollo de una matriz de riesgos para un proyecto de APP: líneas 6 y 18 de São Paulo (Brasil) *(continuación)*

varios organismos de APP en el mundo. En un taller de riesgos, un grupo de expertos en el tema comparte sus opiniones para identificar, evaluar y asignar riesgos. Específicamente, el taller reunió a representantes de todas las partes interesadas pertinentes del proyecto para una evaluación de las líneas 6 y 18 del metro. Los participantes del debate tenían diferentes experiencias y puntos de vista, y compartieron sus opiniones sobre los riesgos que enfrentaban los proyectos y la asignación óptima de estos. La matriz de riesgos no solo permitió identificar los riesgos y proponer una asignación, sino que también permitió identificar posibles incentivos que se podrían implementar para garantizar que cada riesgo fuera mitigado adecuadamente.

El Banco Mundial introdujo el concepto de que las APP deben ofrecer un buen valor por dinero (VpD). Uno de los factores claves del VpD es la transferencia eficaz de riesgos. Las conclusiones del debate sobre la matriz de riesgos sentaron las bases para la elaboración de un análisis de VpD, en el que se abordó la probabilidad estimada y el impacto de cada uno de los principales riesgos, y el grado en el que la autoridad pública retenía o transfería esos riesgos. Si bien el Banco Mundial facilitó el ejercicio, la cuantificación de los riesgos, la asignación y la evaluación de VpD fueron el resultado de las opiniones compartidas por los participantes en dicho taller (véase el capítulo 9 para obtener más detalles sobre la preparación de un análisis de VpD).

La transferencia del riesgo a un socio privado implica un costo acorde al nivel de riesgo. Determinados riesgos sobre los cuales el socio privado puede tener un buen control (por ejemplo, el riesgo inherente al diseño y la construcción) se pueden transferir de manera muy eficiente a una prima razonable, pero la transferencia de otros riesgos sobre los cuales el socio privado tiene poco control, como el riesgo de demanda, implica un costo muy grande.

Por último, algunos proyectos ferroviarios urbanos han fracasado, no porque el socio privado no haya podido gestionar los riesgos bajo su responsabilidad, sino porque el sector público no ha sido capaz de gestionar los que retuvo. Por

ejemplo, algunos organismos de ejecución de proyectos no pudieron cumplir con los compromisos de adquisición de terrenos, lo que generó costosas demoras que superaron las ganancias previstas de la transferencia de los demás riesgos.

Conclusiones y recomendaciones

Habida cuenta de la magnitud y la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos, la aparición de eventos imprevistos más que la excepción es la regla. Los riesgos se pueden presentar en cualquier etapa del proceso de elaboración de un proyecto ferroviario urbano: planificación, diseño, adquisiciones, construcción, operación y mantenimiento. Las siguientes enseñanzas y recomendaciones son útiles para los responsables de la toma de decisiones y los organismos de ejecución de proyectos, independientemente de la etapa en la que se encuentre el proyecto en el proceso de desarrollo.

Los organismos de ejecución de proyectos deben identificar y evaluar los riesgos de manera imparcial en las primeras etapas de desarrollo de un proyecto. Las experiencias internacionales indican que algunas preguntas básicas suelen quedar sin formularse o se abordan inadecuadamente al inicio. Al analizar los riesgos del proyecto durante la planificación y el diseño preliminar, el organismo de ejecución del proyecto y otras autoridades deben formularse preguntas como las siguientes:

- ¿El plazo del proyecto es realista?
- ¿Cuál es el riesgo de poner en marcha un proyecto ferroviario urbano sin una autoridad metropolitana de transporte en funciones?
- ¿El organismo puede gestionar eficazmente los riesgos que está asumiendo, sobre todo en el contexto de una APP?
- En caso de que la ejecución esté a cargo de diferentes niveles y departamentos del Gobierno, ¿se puede garantizar la coordinación política y regulatoria entre las jurisdicciones y los sectores pertinentes?
- ¿Cuáles son los riesgos de demoras en la expropiación de propiedades y la reubicación de redes de servicios públicos?
- ¿Cuál es el riesgo de que los costos aumenten cuando no hay un organismo independiente que lleve a cabo y respalde los sondeos geológicos detallados y diseños de ingeniería del proyecto?

Si estas preguntas no se pueden responder imparcialmente desde el inicio, los proyectos ferroviarios urbanos no alcanzarán todo su potencial y los

organismos de ejecución de proyectos estarán expuestos a un nivel excesivo de riesgo.

La gestión de riesgos es un ejercicio al que se le debe prestar especial atención y que se debe realizar de manera regular e iterativa durante todo el proceso de desarrollo del proyecto. Los riesgos se deben gestionar desde las primeras etapas de la formulación del proyecto. "La inexistencia o la falta de adecuación de la evaluación y la gestión de riesgos constituyen, en sí mismas, una fuente importante de riesgos para el proyecto" (Flyvbjerg, 2007, 4). La gestión de riesgos consiste en una serie de seis tareas: identificación de riesgos, evaluación de riesgos, mitigación de riesgos, asignación de riesgos, tratamiento de riesgos y seguimiento de riesgos. Cada riesgo se debe evaluar en función de la probabilidad de que ocurra algo y del impacto que causará en caso de que ocurra (El Tesoro de Su Majestad, 2004).

La evaluación de riesgos del proyecto se debe actualizar periódicamente a medida que avanza la ejecución y se dispone de más información (Choi, Cho y Seo, 2004). La preparación de registros de riesgos, modelos financieros y otras herramientas para facilitar la gestión de riesgos es clave durante todas las etapas del proceso de desarrollo del proyecto. La función de gestión de riesgos debe recibir especial atención en los procesos de planificación y organización del organismo de ejecución del proyecto. Se recomienda que los organismos de ejecución involucren a un CSGP para que se ocupe de actualizar el registro de riesgos en el marco de una estrategia de gestión de riesgos a largo plazo.

Un contratista o concesionario privado solo asumirá responsabilidad por los riesgos del proyecto cuando esté debidamente compensado. Las primas por riesgos forman parte del precio de cualquier proyecto. En general, el sector público puede estar mejor posicionado que el sector privado para manejar riesgos desconocidos o no cuantificables. El organismo de ejecución de proyectos debe hacer todo lo posible por distribuir los riesgos del proyecto de manera óptima entre los sectores público y privado. El sector público debe contar con suficiente capacidad institucional para evaluar el riesgo y negociar con los contratistas del sector privado, los proveedores de equipos y los operadores para obtener un precio para el proyecto que refleje un equilibrio justo entre el riesgo y la recompensa (es decir, que sea comercialmente razonable).

Es posible que la transferencia del riesgo del sector público al privado en proyectos ferroviarios urbanos sea eficaz en función de los costos, pero implica invertir en el establecimiento de sólidas bases de referencia sobre los riesgos. En general, las partes del sector privado no aceptan riesgos desconocidos o no cuantificables. Para compartir o transferir riesgos se debe establecer un valor de referencia que permita identificar los riesgos conocidos y realizar estimaciones de los costos necesarios para gestionarlos. Esto hace que los estudios de preparación, como la ingeniería detallada, los sondeos geológicos y los análisis

de demanda certificados por terceros sean aún más importantes. El dinero invertido en estos estudios será compensado en forma de menores primas contractuales requeridas para distribuir o transferir esos riesgos. Los organismos de ejecución de proyectos no deben pretender ahorrar tiempo o dinero recortando estos elementos esenciales de una estrategia de gestión de riesgos, sobre todo cuando las partes interesadas más experimentadas poseen más información sobre los diferentes riesgos y la usarán para negociar términos contractuales a su favor.

La gestión de riesgos implica analizar el proyecto desde la perspectiva de múltiples partes interesadas. La gestión de riesgos no se debe limitar a las perspectivas del organismo de ejecución público y al contratista privado que participa en el proyecto. Como parte de este proceso, también se deben analizar las opiniones de otras partes interesadas, como las entidades de financiamiento, futuros usuarios y personas afectadas por el proyecto. Las circunstancias locales y las características específicas de las partes interesadas que intervienen en un proyecto pueden afectar el proceso de gestión de riesgos.

Notas

Los autores desean agradecer a Fabio Hirschhorn y Joanna Moody del Banco Mundial por sus contribuciones de contenido, y a los revisores Andrés Rebollo de K-Infrastructure; Jorge Rebelo del Banco Mundial; Navaid Qureshi de la Corporación Financiera Internacional (IFC); Juan Antonio Márquez Picón del Metro de Madrid, e Yves Amsler y Dionisio González de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. Para obtener información sobre la identificación de los riesgos típicos que surgen en los proyectos de de metro ligero y sobre las medidas de mitigación recomendadas, véase Mandri-Perrott y Menzies (2010), capítulo 4.
2. Global Infrastructure Hub desarrolló matrices de riesgo para varios sectores, incluidos el metro ligero y transporte ferroviario pesado. En estos recursos, se describen los principales riesgos y se explica la asignación de riesgos típica en el marco de un contrato de APP. Para obtener más información, visite https://ppp-risk.gihub.org/risk-allocation-matrix/transport/heavy-rail/
3. Un contrato llave en mano es aquel en el cual una sola entidad asume la responsabilidad plena de entregar una instalación totalmente equipada y lista para la operación "con la llave en la mano" y es responsable del diseño detallado, la construcción, las adquisiciones, el suministro y la instalación de todos los equipos.
4. La Federación Internacional de Ingenieros Consultores (FIDIC) elaboró modelos estándar de contratos para usar entre empleadores y contratistas en proyectos internacionales de construcción.
5. Aunque no se analizan en detalle en este capítulo, otros riesgos operacionales incluyen vandalismo, obsolescencia tecnológica y riesgos relacionados con el desempeño de ingresos secundarios. En el capítulo 9 se analizan riesgos adicionales específicos del contexto de los acuerdos de APP (como los riesgos de reversión y riesgos de retraimiento), así como la estructuración y las disposiciones en relación con el contrato.

Bibliografía

Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco Islámico de Desarrollo (BIsD), Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada (PPIAF) y Grupo Banco Mundial (2016), Guía de certificación de APP, High Wycombe, Reino Unido: APMG International, https://ppp-certification.com/pppguide/download/.

Beckers, Frank y Uwe Stegemann (2013), A Risk-Management Approach to a Successful Infrastructure Project, Nueva York: McKinsey & Company, https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/a-risk-management-approach-to-a-successful-infrastructure-project

Choi, Hyun-Ho, Hyo-Nam Cho y Jung-Won Seo (2004), "Risk Assessment Methodology for Underground Construction Projects", en *Journal of Construction Engineering and Management* 130 (2): pp. 258-72, http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282004%29130%3A2%28258%29

Couwenberg, Frits (2015), "Interface Management on Rail Infrastructure Projects: The Special Case of Signaling", Signal + Draht 107 (abril): pp. 48-53, https://cdn.movares.nl/wp-content/uploads/2015/10/SIgnal-Draht-Interface-management-on-rail-infrastructure-projects-the-special-case-of-signalling-april-2015.pdf

Flyvbjerg, Bent (2006), "From Nobel Prize to Project Management: Getting Risks Right", en *Project Management Journal* 37(3): pp. 5-15, https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1302/1302.3642.pdf

——— (2007), "Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure", en *Journal of Transportation Planning and Technology* 30 (1): pp. 9-30, https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1303/1303.7402.pdf

El Tesoro de Su Majestad (2004), The Orange Book: Management of Risk-Principles and Concepts, Londres: El Tesoro de Su Majestad.

———. (2013), The Orange Book: Management of Risk-Principles and Concepts, Londres: El Tesoro de Su Majestad.

Hurst, Nigel (2014), "New French Trains Are Too Large", Bearing Consulting (blog), 12 de mayo, http://blog.bearing-consulting.com/2014/05/22/new-french-trains-large/.

Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2009), ISO Standard 31000: Risk Management—Principles and Guidelines, Ginebra: ISO, https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-1:v1:en.

Leipziger, David y Benoit Lefevre (2015), Private Investment in Public Transport: Success Stories from Brazilian Cities, Washington, DC: Instituto de Recursos Mundiales, https://www.wri.org/publication/private-investment-public-transport

Mandri-Perrott, Cledan y Iain Menzies (2010), Private Sector Participation in Light Rail/Light Metro Transit Initiatives, Washington, DC: Banco Mundial, http://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-0-8213-8085-7.

Ng, A. y Martin Loosemore (2007), "Risk Allocation in the Private Provision of Public Infrastructure", en *International Journal of Project Management* 25 (1): pp. 66-76, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786306001001#!.

Samuel, Henry (2014), "French Rail Company Order 2,000 Trains Too Wide for Platforms", The Telegraph, 21 de mayo, http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/france/10845789/French-rail-company-order-2000-trains-too-wide-for-platforms.html

Siemiatycki, Matti y Jonathan Friedman (2012), "The Trade-Offs of Transferring Demand Risk on Urban Transit Public-Private Partnerships", *Public Works Management and Policy* 17 (3): 283-302, http://doi.org/10.1177/1087724X12436993

Smith, Matthew E. (2015), "Procurement Strategies for Major Rail Projects", documento preparado para la "International Railway Summit", IRITS Events Ltd., Barcelona, 18 al 20 de febrero.

Stambrook, David (2005), Successful Examples of Public-Private Partnerships and Private Sector Involvement in Transport Infrastructure Development, París: Centro de Investigación sobre el Transporte de la OCDE/CEMT, https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/pppsuccessstories.pdf.

Ward, Stephen C., Chris B. Chapman y Bernard Curtis (1991), "On the Allocation of Risk in Construction Projects", en *International Journal of Project Management* 9 (3): pp. 140-47, https://doi.org/10.1016/0263-7863(91)90038-W.

Banco Mundial (2014), Public-Private Partnerships Reference Guide, Washington, DC: Instituto del Banco Mundial.

Lecturas adicionales

Akintoye, Akintola, Matthias Beck, Cliff Hardcastle, Ezekiel Chinyio y Darinka Asenova (2001), Framework for Risk Assessment and Management of Private Finance Initiative Projects, Glasgow: Glasgow Caledonian University.

Agencia Europea de Medio Ambiente (1998), "Evaluation of Risk and Risk Management", en *Environmental Risk Assessment—Approaches, Experiences, and Information Sources*, capítulo 8. Copenhague: EEA, https://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C2/chapter8h.html.

Issa, Dania, Margaret Emsley y Richard Kirkham (2012), "Reviewing Risk Allocation for Infrastructure PFI: Between Theory and Practice", artículo presentado en la 28.a Conferencia Anual de la Asociación de Investigadores en Gestión de la Construcción (ARCOM), Edimburgo, 3 al 5 de septiembre, http://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2012-1219-1231_Issa_Emsley_Kirkham.pdf.

8 ADQUISICIONES DEL PROYECTO

Daniel Pulido y Joanna Moody

Los proyectos ferroviarios urbanos son intrínsecamente complejos. Requieren la adquisición de diferentes tipos de bienes, como obra civil, equipos, material rodante y sistemas, y de diferentes tipos de servicios, como ingeniería y operación y mantenimiento (O&M). Estos bienes y servicios deben ser compatibles entre sí (véase el capítulo 3). Deben estar debidamente secuenciados y ejecutarse de una forma que minimice el tiempo de implementación y el costo total del sistema. Por lo tanto, es de vital importancia definir una estrategia de adquisiciones en la que se definan de manera clara las funciones y las responsabilidades, se incentive el ahorro de costos y de tiempo durante la construcción y se aproveche la experiencia de los sectores público y privado. Tan pronto como el proyecto avanza de la planificación al diseño preliminar, el equipo a cargo debe comenzar a considerar cómo pretende llevar a cabo las adquisiciones correspondientes.

En este capítulo se brinda orientación sobre cómo definir y elaborar la estrategia de adquisiciones más adecuada para un proyecto ferroviario urbano, ya sea que se trate del desarrollo de la primera línea de un sistema ferroviario urbano, de la incorporación de una línea adicional o de mejoras a un sistema existente[1]. En la estrategia

Fotografía: Personal del Banco Mundial haciendo un recorrido por los coches recientemente adquiridos, línea 2 del metro de Lima.
Fuente: Julio César Casma, Banco Mundial

de adquisiciones se define cómo se ejecutarán las obras de infraestructura y los sistemas, y cómo se llevará adelante su operación. Asimismo, la determinación de los agentes que tendrán a su cargo la ejecución y la operación de las obras de infraestructura del proyecto dependerá de la estrategia de adquisiciones seleccionada. Salvo que se indique lo contrario, en este manual se hace referencia a la adquisición de infraestructura y equipos (incluida, cuando resulte pertinente, la operación del servicio).

En este capítulo se brinda a las autoridades públicas una serie de recomendaciones prácticas para el diseño y la implementación de un enfoque de adquisiciones que genere valor por dinero (VpD)[2]. Luego de presentarse el concepto de estrategia de adquisiciones, en el capítulo a) se describe a grandes rasgos la gama de modelos de ejecución de adquisiciones disponibles y se analizan sus respectivas ventajas y desventajas; b) se delibera sobre la selección del modelo de ejecución del proyecto o método de adquisición más adecuado a través de un análisis de las características del proyecto, el organismo de ejecución del proyecto, y el mercado para los bienes y servicios que se han de adquirir; c) se analizan las posibles opciones de mecanismos de compensación (principalmente basados en asignación de riesgos e incentivos), y d) se presentan los procedimientos de licitación disponibles para los proyectos ferroviarios urbanos. En una última sección se ofrecen recomendaciones para la selección de la mejor propuesta y para aprovechar al máximo el proceso de adquisiciones.

Estrategia de adquisiciones

Las estrategias de adquisiciones involucran tres elecciones secuenciales: 1) un modelo de ejecución del proyecto o método de adquisición, 2) un plan de compensación o pago, y 3) un tipo de proceso de licitación o método de selección (véase el gráfico 8.1). Para una autoridad pública o un organismo de ejecución de un proyecto que busque desarrollar un sistema ferroviario urbano, es fundamental no solo definir una estrategia de adquisiciones que responda a las necesidades y los intereses específicos del proyecto, el mercado y la propia autoridad, sino también hacerlo en las primeras instancias del proceso de desarrollo. Muchos países de ingreso bajo y medio tienen una experiencia limitada en la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos o bien operan con capacidades técnicas y de supervisión limitadas, financiamiento y fondos restringidos, y marcos jurídicos que impiden ciertas alternativas de contratación. Un análisis exhaustivo de las opciones de adquisiciones y una planificación temprana son esenciales para superar estos desafíos y garantizar que se cumplan los requisitos de los posibles financiadores.

GRÁFICO 8.1. Opciones durante la definición de una estrategia de adquisiciones

Nota: APP = asociación público-privada

La determinación del método de ejecución es una de las decisiones más importantes que debe tomar el organismo de ejecución del proyecto. Es importante elegir el método que mejor se adapte a las necesidades únicas de cada organismo de ejecución y de cada proyecto. El primer paso en la elección del mejor método para cualquier proyecto es tener una comprensión cabal de las opciones disponibles y de las opiniones de las distintas partes interesadas en relación con el modelo de ejecución. También es importante tener una comprensión profunda del impacto que cada elección tiene sobre el alcance, el presupuesto y el cronograma del proyecto y también sobre las relaciones institucionales. Muchas veces, estos impactos no se dimensionan como deberían, por lo que el equipo del proyecto debe destinar tiempo suficiente a examinar las opciones con organismos tanto existentes como incipientes.

Las consideraciones relativas al proyecto tienen impactos fundamentales en el método de ejecución seleccionado, e incluyen 1) un presupuesto realista, 2) un cronograma que abarque un período de desempeño razonable, 3) un proceso de diseño receptivo y de buena calidad, 4) una evaluación de riesgos y su posterior asignación a las partes correspondientes, y 5) el reconocimiento del nivel de experiencia del organismo de ejecución del proyecto y del mercado nacional de construcción y abastecimiento. Con la elección del método de ejecución también 1) se establece el momento en el que intervienen las partes, 2) se influye en la elección de las relaciones contractuales, y 3) se influye en la propiedad y los costos de los cambios y las modificaciones en el diseño del proyecto.

Los distintos modelos de ejecución de proyectos

La mayoría de los organismos de ejecución de proyectos del mundo ha utilizado el tradicional método de diseño, licitación y construcción (DBB) para la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos nuevos. Sin embargo, a partir de la segunda mitad de la década de 1990, algunos países de ingreso bajo y medio de Asia oriental y América Latina comenzaron a utilizar métodos de adquisición alternativos con el propósito de reducir los costos y los plazos de ejecución de los proyectos. Pero no siempre lo lograron. Más recientemente, las autoridades públicas han vuelto a optar por métodos de adquisición alternativos que transfieren un mayor grado de responsabilidad y de riesgo a los promotores privados.

En esta sección se describen las alternativas empleadas con mayor frecuencia, que van desde a) el método tradicional, en el cual el sector público se hace cargo de la ejecución del proyecto, subcontrata las diferentes funciones por separado y gestiona las interacciones, hasta b) un enfoque alternativo, en el cual el sector público subcontrata a un partícipe privado para que se encargue de la ejecución del proyecto en su totalidad (véase el gráfico 8.2). No existe un único modelo de ejecución ideal para todos los proyectos. Es importante que el organismo público de ejecución analice todas las alternativas disponibles durante la planificación y el diseño preliminar del proyecto a fin de determinar cuál es el método que ofrece la solución más conveniente.

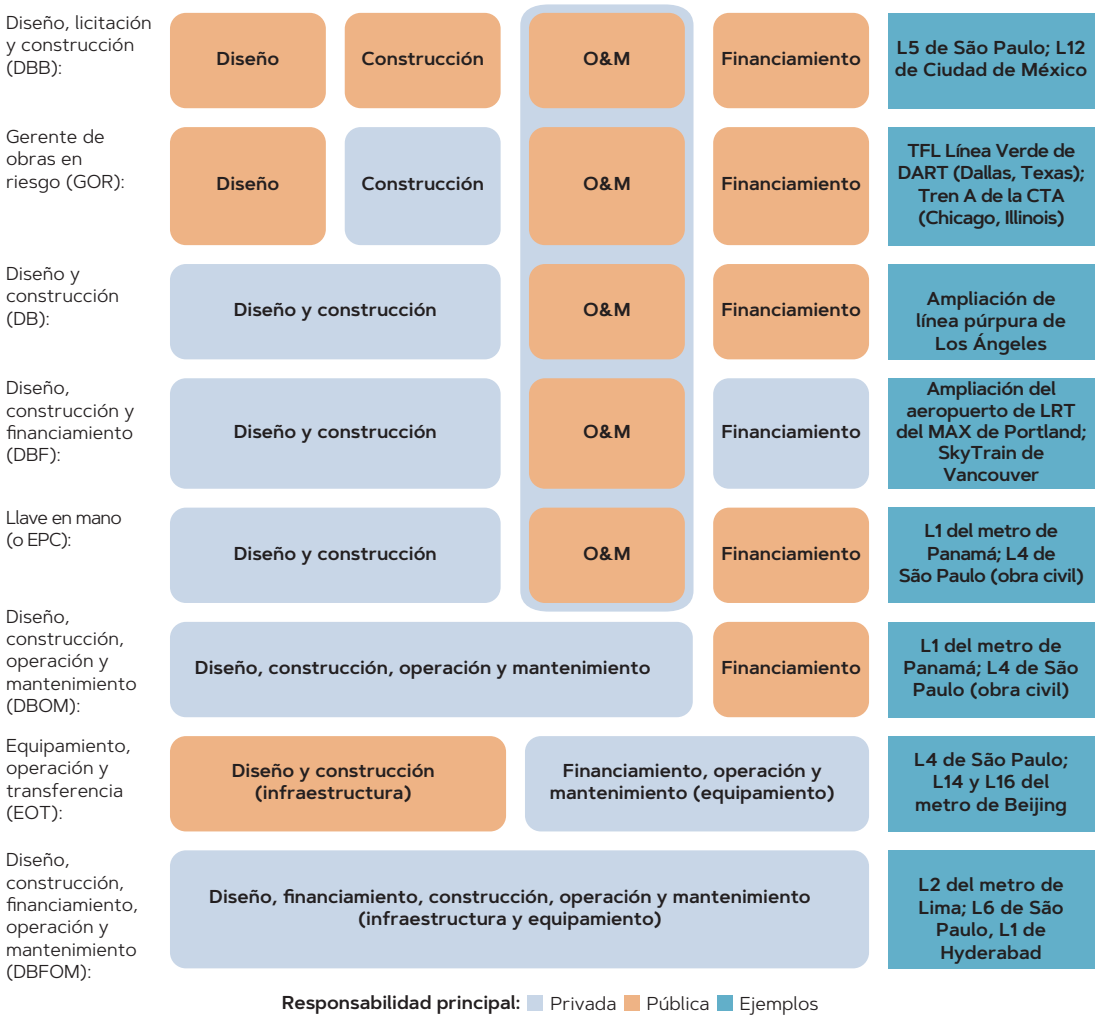
Como se muestra en el gráfico 8.2, en el caso de los proyectos construidos con el modelo de DBB, gerente de obras en riesgo (GOR), diseño y construcción (DB), y las modalidades de diseño, construcción y financiamiento (DBF), la responsabilidad respecto de la O&M es independiente de la ejecución de obras de infraestructura y sistemas. Por ende, las responsabilidades de O&M pueden transferirse a un socio privado en el marco de una concesión o una asociación público-privada (APP) tras la ejecución de las obras civiles. No obstante, los organismos de ejecución de proyectos no deben esperar a que finalice la construcción para analizar cómo se llevarán a cabo las actividades de O&M, ya que la prestación del servicio es fundamental para alcanzar los objetivos de desarrollo del proyecto.

Además de los distintos pasos (diseño, financiamiento, construcción, O&M), un proyecto ferroviario urbano también implica la adquisición de los diversos tipos de insumos (obra civil, bienes, software y servicios) que pueden ser necesarios para la ejecución de uno o más componentes (véase el recuadro 8.1).

Diseño, licitación y construcción o adquisición tradicional

DBB es un método a través del cual el organismo de ejecución del proyecto contrata a distintas entidades para que se encarguen de ejecutar los diferentes

GRÁFICO 8.2. **Métodos de ejecución de proyectos ferroviarios urbanos**



Nota: CTA = Autoridad de Tránsito de Chicago; DART = tránsito rápido en la zona de Dallas; EPC = ingeniería, adquisición y construcción; LRT = metro ligero; MAX = Expreso del Área Metropolitana; O&M = operación y mantenimiento.

componentes del proyecto. Según este método, la ejecución del proyecto se fracciona en contratos independientes, lo que le brinda al organismo de ejecución del proyecto un mayor grado de control y flexibilidad. Las variaciones del método de DBB incluyen contratista general o principal y varios contratistas principales.

RECUADRO 8.1.

Ejemplos de ejecución de proyectos con contratos múltiples para proyectos ferroviarios urbanos en Estados Unidos

Ampliación del Sistema de Tránsito Rápido del Área de la Bahía (BART) al Aeropuerto Internacional de San Francisco

A través de este proyecto de USD 1550 millones consistente en un tramo de 14 kilómetros, se llevó a cabo la ampliación del sistema ferroviario pesado del BART al Aeropuerto Internacional de San Francisco y se añadieron cuatro nuevas estaciones. Las adquisiciones del proyecto se llevaron a cabo principalmente en el marco de dos contratos de DB. La asociación temporal entre Sverdrup Corporation y Conco recibió la adjudicación de un contrato de DB por USD 70,5 millones para la construcción de la estación intermodal de Millbrae, con conexiones a Caltrain. La asociación temporal entre Tutor-Saliba Corporation y Slattery Construction recibió la adjudicación de un contrato de DB por USD 526,5 millones para la construcción de la línea de BART desde Colma hasta Millbrae, incluidas todas las obras en vías y de sistemas, que representó cerca del 90 % del costo de la construcción de la ampliación (Freeman, Wei y Gosling, 2012). El modelo de contrato de DB permitió que el proyecto avanzara con rapidez del diseño a la construcción, pero el BART tuvo inconvenientes con la gestión del método de adquisición no tradicional: sufrió falta de liquidez y no pudo obtener fondos al mismo ritmo al que avanzaba la construcción. Finalmente, la falta de experiencia con el modelo de adquisición de DB del organismo de ejecución del proyecto contribuyó a que el proyecto finalizara 16 meses más tarde (en junio de 2003) y superara el presupuesto previsto en casi USD 500 millones.

Ampliación de la línea azul de la Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington (WMATA)

Para la ampliación de 5 kilómetros de extensión de la línea azul de la WMATA al este del condado de Prince George (Maryland), se adjudicaron dos contratos de DC y un contrato de DBB por un costo total de USD 456 millones. En el contrato de DBB, se incluyó un contrato para preparar el emplazamiento para la instalación de más de 3 kilómetros de vía subterránea, más de 800 metros de vía a nivel y más de 800 metros de vía elevada sobre el Anillo Vial de Washington. Dentro de los dos contratos de DB, se contemplaban todos los sistemas electromecánicos, la construcción de dos nuevas estaciones y las obras en las instalaciones del estacionamiento (Kay, 2009). El proyecto se concretó dentro del plazo y el presupuesto previstos en 2004.

Contratista general o principal

En la mayoría de los países, el modelo de DBB con un contratista general o principal es el proceso de adquisición más tradicional para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos. Según este método, el organismo público de ejecución del proyecto contrata a contratistas separados para el diseño y la construcción del proyecto. Hay tres fases lineales bien diferenciadas:

1. El organismo de ejecución del proyecto contrata y supervisa a una empresa de ingeniería para lleve a cabo el diseño del proyecto basado en las especificaciones de la planificación y asume la responsabilidad respecto de dicho diseño, que conforma la base de la licitación para la construcción; el diseño del proyecto puede ser el diseño detallado o bien un diseño básico avanzado.
2. El organismo de ejecución del proyecto contrata los servicios de un contratista.
3. El contratista elabora el proyecto en función de los diseños y las especificaciones del organismo de ejecución del proyecto.

Una vez que el proyecto se ha construido, el organismo de ejecución normalmente se encarga de operar el sistema. Sin embargo, también puede poner la O&M del sistema en manos de un operador público o un socio privado.

El método de DBB es el método de ejecución pública más tradicional, dado que el sector público —que es el más obligado a rendir cuentas ante el público— controla todas las fases de la ejecución del proyecto. De todos modos, este tipo de control requiere niveles de experiencia, conocimientos y participación que son difíciles de alcanzar en algunas instituciones públicas en países de ingreso bajo y medio, particularmente en el caso de los proyectos ferroviarios urbanos nuevos. Desde la perspectiva de un organismo que pretende elaborar un proyecto ferroviario urbano nuevo (la primera línea), el enfoque de DBB tiene las ventajas y las desventajas adicionales que se detallan en el cuadro 8.1. Puede ahorrarse tiempo si, por ejemplo, el organismo es responsable únicamente del diseño preliminar realizado a partir de un análisis geotécnico exhaustivo y si el contratista seleccionado lleva a cabo el diseño (conforme a la obra) detallado. Sin embargo, tanto el organismo de ejecución del proyecto como —en muchos casos— el consultor externo independiente deben examinar el diseño detallado y los costos correspondientes generados por el contratista.

En la línea 5 del metro de São Paulo (fase 1), la línea de metro M7 en Estambul y la línea 12 de la Ciudad de México, las adquisiciones se realizaron a través de un modelo tradicional de DBB para la ejecución del proyecto.

Varios contratistas principales

El modelo de varios contratistas principales es una variación del modelo de DBB en la que el organismo de ejecución del proyecto contrata de manera directa a distintos contratistas especializados (o principales) para componentes específicos del proyecto, y no a un único contratista general o principal (véase el cuadro 8.2).

CUADRO 8.1. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de diseño, licitación y construcción de contratista general o principal

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• Por lo general, el organismo de ejecución del proyecto tiene más experiencia en el uso de este enfoque. • El desglose del proceso en pasos independientes de diseño y construcción permite a las empresas especializadas competir en su propio ámbito de competencia, lo que expande el grupo de licitantes, en comparación con una situación en la que los licitantes se ven obligados a formar consorcios con empresas especializadas en otras áreas. • El profesional de diseño es independiente y realiza el seguimiento del proyecto en beneficio del organismo de ejecución del proyecto. • El organismo de ejecución del proyecto tiene la libertad, durante el diseño del proyecto, de realizar cambios y explorar alternativas. • Los costos tienen un mayor grado de certidumbre porque la licitación de la construcción se realiza a partir de un diseño ya completo.	• La ejecución puede demorar más que con otros métodos, porque todas las tareas de diseño deben finalizarse antes de que se proceda a la solicitud de ofertas para la construcción. Esto puede ocasionar demoras y redundar en la pérdida de la oportunidad política para ejecutar el proyecto. • La separación del diseño y la construcción priva al organismo de ejecución del proyecto del conocimiento sobre planificación del contratista en materia de ingeniería de valor y viabilidad de la construcción y eleva el costo de los cambios en el diseño durante la construcción. Esto puede evitarse si se incluyen cláusulas sobre ingeniería de valor en los documentos de licitación.	• El organismo de ejecución del proyecto asume la totalidad de los riesgos relativos al costo, el diseño, la construcción y la O&M. Por lo general, la mayor parte de estos riesgos dentro de cada segmento igualmente pueden transferirse a los respectivos contratistas u operadores mediante la incorporación de las cláusulas sobre responsabilidad civil como parte de sus contratos. • El organismo de ejecución del proyecto asume el riesgo de interfaz entre el diseñador y el contratista y es responsable de cualquier discrepancia entre el diseño y la construcción. • Cualquier problema relativo al suelo no detectado en el diseño que pueda hacer necesarias soluciones de construcción más costosas es responsabilidad del organismo de ejecución del proyecto[a]

Nota: O&M = Operación y mantenimiento

a. Esta no es una característica exclusiva del modelo de diseño, licitación y construcción. En otros tipos de adquisiciones, el riesgo también puede permanecer en manos del organismo responsable de las adquisiciones si el recargo en los costos aplicado por el sector privado por la transferencia del riesgo se considera inaceptable (véase el capítulo 7).

El metro de Santiago, en Chile, un organismo público establecido con experiencia en el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos, emplea este método de adquisición para desarrollar nuevas líneas de transporte ferroviario urbano. Para el desarrollo de las líneas 3 y 6, pusieron en marcha 45 procesos de licitación para diferentes servicios, incluidos obras civiles, equipos y supervisión.

CUADRO 8.2. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de diseño, licitación y construcción de varios contratistas principales

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• El organismo de ejecución del proyecto tiene control sobre todo el proceso. • El hecho de contar con un mayor número de contratistas entre los cuales elegir el principal hace que aumente la competencia y se reduzca el precio. • Es posible acelerar la ejecución de ciertos componentes, dado que el organismo de ejecución del proyecto puede ofrecer en licitación paquetes de diseño a diferentes contratistas principales a medida que se van finalizando. • Si un contratista incumple, su lote es el único que se demora.	• Es necesario que el organismo de ejecución del proyecto tenga la capacidad y la experiencia necesarias para asumir eficazmente la función de coordinación y gestión de contratos para varios procesos de adquisiciones y varias licitaciones. • Existe la posibilidad de que se planteen numerosos reclamos entre los distintos contratistas. • El precio final se desconoce hasta el momento de la contratación del último contratista principal. • Es necesario contar con planes de contingencia para el caso de que se produzcan incumplimientos en un eslabón intermedio de la cadena. • El proceso requiere un integrador del proyecto muy sólido.	• Sumado al riesgo de interfaz, el organismo de ejecución del proyecto asume el riesgo vinculado a la integración entre los diferentes contratistas principales.

Gerente de obras en riesgo

Según el método de GOR, el organismo de ejecución del proyecto contrata el diseño por separado y celebra un acuerdo (a través de un proceso de licitación pública) con un gerente de obras que asume el riesgo de ejecutar el proyecto en tiempo y forma y dentro del presupuesto (véase el cuadro 8.3). El gerente de obras asume efectivamente el rol de gerente de proyecto en nombre del organismo de ejecución, quien puede no contar con la experiencia ni la capacidad necesarias para desempeñar esta función por sí mismo. El gerente de obras brinda al organismo de ejecución del proyecto aportes relativos a la construcción durante el diseño y se convierte en el contratista general durante la construcción. Como contratista general, el gerente de obras luego puede subcontratar a otros contratistas especializados para que se encarguen de componentes

CUADRO 8.3. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de gerente de obras en riesgo

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• Permite la competencia de precios en los paquetes de obras subcontratados junto con la selección basada en las calificaciones y el precio del modelo de gerente de obras en riesgo. • Permite la superposición de los cronogramas de diseño y construcción, con el consiguiente ahorro de tiempo. • Permite, desde un primer momento, el aporte del constructor (contratista de obras civiles) en el diseño del proyecto, lo que reduce los desvíos en los costos y los cronogramas. • Alienta el trabajo en equipo entre el organismo de ejecución del proyecto, el diseñador y el gerente de obras. • Brinda la oportunidad de profundizar conocimientos a nivel interno y de adquirir una mayor experiencia. • Incentiva al gerente de obras a optimizar la O&M.	• Puede no estar respaldado por las leyes y regulaciones sobre adquisiciones de algunas jurisdicciones. • Elimina la oportunidad de realizar una licitación externa de las tareas (si el organismo de ejecución del proyecto no exige al gerente de obras que lleve a cabo un proceso de licitación pública para seleccionar a los subcontratistas). • El organismo de ejecución del proyecto igualmente está obligado a resolver los conflictos entre el diseñador y el gerente de obras.	• La asignación del riesgo vinculado al diseño es poco clara, ya que el GOR es responsable de la gestión tanto de las tareas previas a la construcción como de la construcción. • El gerente de obras asume parte del riesgo vinculados a la ejecución durante el diseño y la construcción.

Nota: GOR = gerente de obras en riesgo; O&M = operación y mantenimiento.

específicos. Después del diseño y la construcción, todas las responsabilidades de O&M continúan en manos del organismo público de ejecución del proyecto.

Por lo general, los contratos de GOR tienen un precio definido en la forma de una suma global fija o de un precio máximo garantizado (PMG) que se determina una vez que se ha finalizado, como mínimo, el 60 % de los diseños. Al utilizar un PMG, el organismo de ejecución del proyecto y el gerente de obras pueden compartir los ahorros de costos relacionados con el PMG.

El modelo de ejecución de proyecto de GOR se utilizó para una ampliación de 70 kilómetros del Sistema de Trenes Metropolitanos del Condado

de Weber en Salt Lake City (Utah) (Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina, 2010).

Diseño y construcción

Según el método de ejecución de DB, el organismo de ejecución del proyecto contrata a una única entidad comercial (el diseñador-constructor) para que lleve a cabo las actividades de diseño y construcción en el marco de un solo contrato (véase el cuadro 8.4). El diseñador-constructor puede ser un consorcio, una asociación temporal u otra organización constituida para ejecutar el proyecto.

En comparación con los modelos de adquisiciones tradicionales de DBB, los métodos de DB pueden aportar economías de escala y complementariedades combinando las tareas de diseño y construcción del proyecto (véase el capítulo 6). No obstante, el organismo de ejecución igualmente debe describir sus requisitos y normas de diseño y construcción con suficiente detalle a fin de que pueda recibir ofertas comparables de los licitantes y llevar a cabo la correspondiente selección, determinación de precios y gestión de contratos. Este grado de supervisión es necesario para materializar las economías y para garantizar que el contratista no se apropie de todos los ahorros. Una vez finalizada la

CUADRO 8.4. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño y construcción

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• Punto único de responsabilidad respecto del diseño y la construcción. • Ejecución más rápida, dado que se elimina el proceso de licitación y selección para el contratista entre ambas etapas. • Más oportunidades para la optimización del proyecto desde las primeras instancias del proceso de elaboración, cuando los cambios suponen costos menores. • Transferencia al contratista de los riesgos vinculados al diseño.	• Menos competencia en la selección del diseñador-constructor. • Salvo que en las condiciones contractuales se disponga que el proceso de diseño debe incluir el aporte del operador, es posible que las cuestiones operativas no se contemplen adecuadamente. • El contratista puede apropiarse de las economías si no se implementan incentivos adecuados. • El organismo de ejecución del proyecto debe contar con los recursos necesarios para aprobar diseños conforme a obra.	• El riesgo vinculado al diseño pasa a manos del contratista; el diseñador-constructor es responsable de las falencias del diseño. • El diseñador-constructor puede ser responsable de la ejecución de todos los componentes, lo que reduce el riesgo de interfaz.

construcción del sistema, el organismo público de ejecución del proyecto es responsable de la O&M, y puede optar por desempeñar esta función de manera interna o bien por medio de una subcontratación en el marco de un contrato aparte.

En 2015, el directorio del metro de Los Ángeles autorizó al personal a emplear un enfoque de ejecución de contrataciones DB para completar el diseño final y la construcción del segundo tramo del Proyecto de Ampliación de la Línea Púrpura de la Zona Oeste, consistente en una extensión de vía doble de 4 kilómetros para el sistema ferroviario pesado y dos nuevas estaciones subterráneas. Finalmente, en el marco del proyecto se extenderá la línea púrpura unos 14 kilómetros (siete nuevas estaciones) desde Wilshire/La Cienega hasta el Westwood/Veterans Administration Hospital.

Diseño, construcción y financiamiento

El modelo de ejecución DBF es similar al modelo DB en el sentido de que el contratista se encarga de los servicios tanto de diseño como de construcción, y el organismo de ejecución del proyecto recibe el activo ya construido y se hace cargo de las actividades de O&M (véase el cuadro 8.5). Según el modelo de DBF, el organismo de ejecución del proyecto no paga la construcción a medida que esta avanza, sino que posterga el pago hasta su finalización, y depende del contratista como financiador. El contratista recupera este financiamiento con pagos del Gobierno, que se hacen efectivos con la puesta en marcha del proyecto, a menudo en una serie de cuotas fijas a lo largo de varios años.

CUADRO 8.5. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño, construcción y financiamiento

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• Las mismas ventajas del modelo de DB. • Permite al organismo de ejecución del proyecto superar la restricción de fondos a corto plazo. • Aumenta el grado de supervisión y añade un nivel más de debida diligencia por parte de los prestamistas comerciales que financian al contratista.	• Las mismas desventajas del modelo de DB. • Mayor costo financiero (recargo del crédito público estructurado respecto de la deuda directa del sector público), pero menor que en los métodos de APP. • El financiamiento depende de la solvencia crediticia del Gobierno únicamente.	• Grado de transferencia del riesgo vinculado a la construcción potencialmente mayor que en el modelo de DB, dada la exposición prolongada del contratista más allá del período normal de responsabilidad por defectos de la construcción.

Nota: DB = diseño y construcción; APP = asociación público-privada.

Cuando estos pagos del Gobierno son incondicionales e irrevocables, no están sujetos al riesgo vinculado al desempeño del proyecto tras la construcción, cuando el proyecto se pone en manos del sector público. En este caso, el financiamiento provisto por el contratista no se considera financiamiento privado (véase el capítulo 10). Este método de adquisición se considera financiamiento público en virtud de muchas regulaciones contables nacionales, debido a que la autoridad contratante asume el control pleno sobre los activos y los riesgos una vez finalizada la construcción del proyecto (BAsD y otros, 2016). Por estas razones, en el presente manual este método no se considera una APP.

La Provincia de Ontario (Metrolinx) en Canadá utilizó este modelo de ejecución para introducir mejoras en los corredores GO Transit Milton y Stouffville en la Ciudad de Mississauga. El método DBF también fue el elegido en la ampliación del aeropuerto del sistema de metro ligero del Expreso del Área Metropolitana (MAX) de Portland[3] y en una extensión de 11 kilómetros del sistema de SkyTrain en Metro Vancouver.[4]

Ingeniería, adquisiciones y construcción o contratación llave en mano

Los contratos de ingeniería, adquisiciones y construcción (EPC)[5] o llave en mano son acuerdos legales a través de los cuales el propietario de un proyecto pone en manos de un contratista la ingeniería, las adquisiciones y la construcción del proyecto, y su preparación para las operaciones en tiempo y forma y dentro del presupuesto. La contratación llave en mano también se conoce como llave en mano por suma global para indicar que el contratista es, por lo general, responsable de ejecutar el proyecto a un precio fijo. Si bien los términos a menudo se utilizan de manera intercambiable, el término *llave en mano* excede la EPC, dado que implica la inclusión de la puesta en servicio del proyecto (dicho de otro modo, la constatación de que el servicio ferroviario puede operarse de manera fiable y segura). En la contratación EPC, el contratista controla el presupuesto, los plazos y el desempeño operativo del proyecto (sujeto a los requisitos contractuales) y se convierte efectivamente en la única contraparte del propietario del proyecto.

Las contrataciones DB y EPC son similares en el sentido de que la responsabilidad respecto del diseño y la construcción se transfiere a la. misma parte. Por consiguiente, las principales ventajas y desventajas de la contratación EPC son similares a las de la modalidad DB (véase el cuadro 8.4). No obstante, en los contratos EPC tienden a transferirse más riesgos del organismo de ejecución del proyecto al contratista que en los contratos de DB, incluidos el desconocimiento del estado en que se encuentra el emplazamiento, y pruebas y puesta en servicio (FIDIC, 2017; Hosie, 2007). Un único contrato EPC puede incluir la ejecución de varios componentes del proyecto y su integración, o bien el organismo de

ejecución del proyecto puede celebrar diferentes contratos EPC para la ejecución de los distintos componentes. Además, algunas empresas de material rodante actualmente ofrecen soluciones llave en mano que agrupan, en un único contrato, obras en vías, electrificación, fabricación de trenes, sistemas de control ferroviario y mantenimiento.

La primera línea del metro de Panamá se desarrolló en el marco de un contrato EPC que comprendía la totalidad de los componentes del proyecto (incluidas la obra civil para la construcción de líneas y las estaciones, todos los sistemas electromecánicos, los sistemas de información y emisión de boletos, y el material rodante). El Gobierno del estado de São Paulo, en Brasil, llevó a cabo las adquisiciones de las obras civiles a través de un contrato EPC para la línea 4 y las adquisiciones del material rodante y los servicios de O&M a través de una APP.

Asociaciones público-privadas

Una APP se define como un "contrato a largo plazo entre una parte del sector público y un partícipe privado para el desarrollo (o la readaptación significativa) y la gestión de un activo público (incluida la posible gestión de un servicio público relacionado), en el que la parte privada asume un riesgo significativo y la responsabilidad en cuanto a la gestión durante todo el plazo del contrato, y la remuneración está vinculada en gran medida con el desempeño o con la demanda o el uso del activo o servicio" (Instituto del Banco Mundial, 2012). En una APP, el organismo de ejecución del proyecto transfiere una mayor responsabilidad y un mayor riesgo a una parte privada, y agrupa en un único contrato el diseño, la construcción y la O&M. Este partícipe privado subcontrata a empresas especializadas para que se encarguen de la ejecución de los diferentes componentes del proyecto, opera y mantiene el sistema, y (en algunos casos) obtiene financiamiento en contraprestación por el derecho a percibir ingresos del proyecto o pagos del Gobierno. Los concesionarios o los socios privados pueden celebrar un contrato EPC o llave en mano con un tercero y establecer obligaciones que reflejen los compromisos relacionados con la ejecución del proyecto que se han de asumir en el marco de un acuerdo de APP.

En algunas APP, la parte privada es responsable de obtener una parte considerable del financiamiento para el proyecto. Si la capacidad de reembolsar este financiamiento está vinculada al desempeño operativo del proyecto a través del mecanismo de pago del contrato, la APP puede considerarse una APP de financiamiento privado. La vinculación entre el pago y el desempeño alinea el fin de lucro del sector privado con los intereses relativos a la calidad del servicio y la fiabilidad del sector público, y permite a los organismos de ejecución de proyectos beneficiarse de la disciplina incorporada por los financiadores privados en las fuentes de financiamiento del proyecto. No obstante, si la capacidad de

reembolsar el financiamiento del proyecto no depende del desempeño operativo de este último, la APP no se considera una APP de financiamiento privado.[6]

Tal como sucede con otros modelos, las APP pueden no abarcar la ejecución completa de un proyecto y cubrir, en cambio, solamente algunas de sus funciones o componentes. Los contratos de APP pueden coexistir con la gestión pública de la infraestructura ferroviaria o con la operación pública de los servicios de transporte ferroviario urbano. Por ejemplo, los organismos de ejecución de proyectos pueden recurrir a una APP únicamente para construir estaciones (como en el proyecto de la línea 9 del metro de Barcelona) o solamente para realizar obras de infraestructura, reteniendo las operaciones (como en el proyecto de la línea del metro de Madrid al Aeropuerto de Barajas).

En esta sección se presentan las modalidades de APP más frecuentes que se han utilizado para la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos y se detallan sus ventajas, desventajas y riesgos relativos en comparación con otros modelos de ejecución de proyectos. Los factores críticos que deben contemplarse a la hora de diseñar el contrato de APP se analizan en el capítulo 9.

Diseño, construcción, operación y mantenimiento

En un método de diseño, construcción, operación y mantenimiento (DBOM), las actividades de diseño y construcción se agrupan con la operación y el mantenimiento del proyecto y se delegan en una entidad del sector privado mediante un único contrato a largo plazo (en algunos casos, de hasta 30 años), mientras que el financiamiento es aportado por el sector público (véase el cuadro 8.6). En un contrato DBOM típico, la remuneración del contratista privado no está vinculada con el desempeño del activo, lo que puede resultar indeseable desde la perspectiva de la transferencia del riesgo. El sector público paga la construcción a medida que avanzan las obras y paga las actividades de O&M en función del servicio prestado, no del estado del activo. En algunas instancias, estos contratos pueden contener disposiciones que vinculan los pagos al desempeño.

Varios proyectos ferroviarios urbanos se han desarrollado con este modelo, incluidos, entre otros, el metro ligero Hudson-Bergen en Nueva Jersey, el Monorraíl de Las Vegas y el Tren Urbano en San Juan, Puerto Rico.

Diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento, o construcción, operación y transferencia

En un método de diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento (DBFOM) o de construcción, operación y transferencia (BOT), el contratista asume todas las responsabilidades analizadas en el modelo de DBOM y también aporta su propio financiamiento (para la totalidad o una parte considerable de los costos del proyecto) en lo que se considera una APP

CUADRO 8.6. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño, construcción, operación y mantenimiento

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• El socio privado puede implementar la opción más eficaz en función de los costos al considerar toda la duración del proyecto (ventaja relativa a los costos del ciclo de vida). • Menor riesgo de problemas con la integración y las interacciones de los componentes. • Mayor flexibilidad para el contratista, que puede llevar adelante su propia ingeniería de valor.	• El organismo de ejecución del proyecto pierde control sobre la ejecución y la flexibilidad del proyecto. • El riesgo de contraparte se incrementa. • Requiere la formación de consorcios entre los proveedores de los diferentes componentes, lo que redunda en un menor número de ofertas que las que se presentarían si la adquisición de los componentes se llevara a cabo por separado. • El organismo de ejecución del proyecto abandona la posibilidad de realizar una nueva licitación pública para la O&M. • Requiere de un muy buen diseño avanzado del proyecto básico para la licitación y de un organismo de ejecución del proyecto sólido, que cuente con el apoyo de un CSGP, para que realice el seguimiento de la construcción.	• Transfiere los riesgos durante las etapas del proyecto (riesgos del ciclo de vida) a la parte privada. • En la medida en que los diferentes componentes del proyecto se integren en un único contrato, se mitiga el riesgo de interfaz.

Nota: O&M = operación y mantenimiento; CSGP = consultor de supervisión de la gestión de proyectos.

de financiamiento privado (véase el cuadro 8.7)[7]. El resultado de este modelo es una APP con integración vertical plena en la cual el socio privado supervisa todos los componentes del proyecto durante un período de concesión predeterminado. La incorporación de financiamiento privado genera mayores incentivos para el desempeño e introduce un beneficio indirecto a través de la rigurosidad de la debida diligencia impuesta por los financiadores comerciales.

El modelo de DBFOM se ha usado recientemente para elaborar proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso tanto alto como bajo y medio, a saber, la línea de metro 1 en Hyderabad, las líneas de metro 6 y 18 en São Paulo, la línea

CUADRO 8.7. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento o de construcción, operación y transferencia

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• Las mismas ventajas relativas a los costos del ciclo de vida que el modelo de DBOM. • El financiamiento privado en riesgo genera incentivos para la alineación de los objetivos de las partes del sector público y del sector privado en una ejecución eficiente.	• Las mismas que en el modelo de DBOM. • Mayores costos de financiamiento (las entidades de financiamiento están expuestos al riesgo vinculado a los resultados del proyecto y a la solvencia crediticia del otorgante cuando hay un flujo de pagos del Gobierno involucrado).	• La asignación de riesgos es similar a la del modelo de DBOM, con el beneficio adicional de que el financiamiento privado incrementa la alineación de incentivos para el socio privado.

Nota: DBOM = diseño, construcción, operación y mantenimiento.

de metro 2 en Lima, la línea púrpura en la ciudad de Washington, y la línea de Canadá en Vancouver. Las líneas de metro 1 y 2 en Salvador (Brasil) actualmente se encuentran en proceso de construcción en el marco de un contrato de DBFOM.

En proyectos ferroviarios urbanos recientes, sin infraestructura previa, de América Latina cuyas adquisiciones se realizaron en el marco de APP de DBFOM, la licitación pública se ha limitado a uno o dos licitantes, y la diferencia entre el precio de referencia máximo y el precio de la oferta ha sido relativamente escasa. Esto se debió, en parte, a las dificultades experimentadas a la hora de formar los consorcios para la ejecución de proyectos de DBFOM verticalmente integrados, lo que requirió negociaciones entre empresas de diferentes sectores y con modelos de negocios dispares (véanse los cuadros 8A.1 y 8A.2 en el anexo de este capítulo).

Equipamiento, operación y transferencia o BOT con equipamiento

En un método de equipamiento, operación y transferencia (EOT) (a veces denominado "método de BOT con equipamiento"), el organismo de ejecución del proyecto desarrolla la infraestructura (y los sistemas) a través de un modelo de DBB o DB más tradicional y luego celebra un acuerdo a largo plazo con una entidad privada para la ejecución y el financiamiento del material rodante y los servicios de O&M durante un período de concesión prolongado, generalmente de 20 a 30 años (véase el cuadro 8.8).

El método de EOT se utilizó para desarrollar la línea 4 en São Paulo, las líneas 14 y 16 en Beijing, y la línea 1 en Hangzhou.

CUADRO 8.8. Ventajas, desventajas y riesgos del modelo de ejecución de equipamiento, operación y transferencia

VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASIGNACIÓN DE RIESGOS
• Menor costo de financiamiento general a través del financiamiento de las actividades de construcción con fondos públicos y del material rodante con el financiamiento del proyecto y los organismos de crédito a la exportación. • Mayor número potencial de licitantes (operadores en asociación con proveedores de material rodante).	• Posibles problemas de integración entre infraestructura y equipamiento y material rodante. • El organismo de ejecución del proyecto necesita de un CSGP sólido con acceso a los datos de seguimiento. • Puede implicar riesgos de interfaz si no hay un integrador sólido o si la entidad privada no participa en la supervisión de la construcción de la infraestructura.	• Persisten los riesgos vinculados a la integración de la infraestructura y los sistemas y la interfaz entre ellos. • Menor capacidad de transferir riesgos al socio privado, que solo aceptará riesgos directamente relacionados con los componentes que provee.

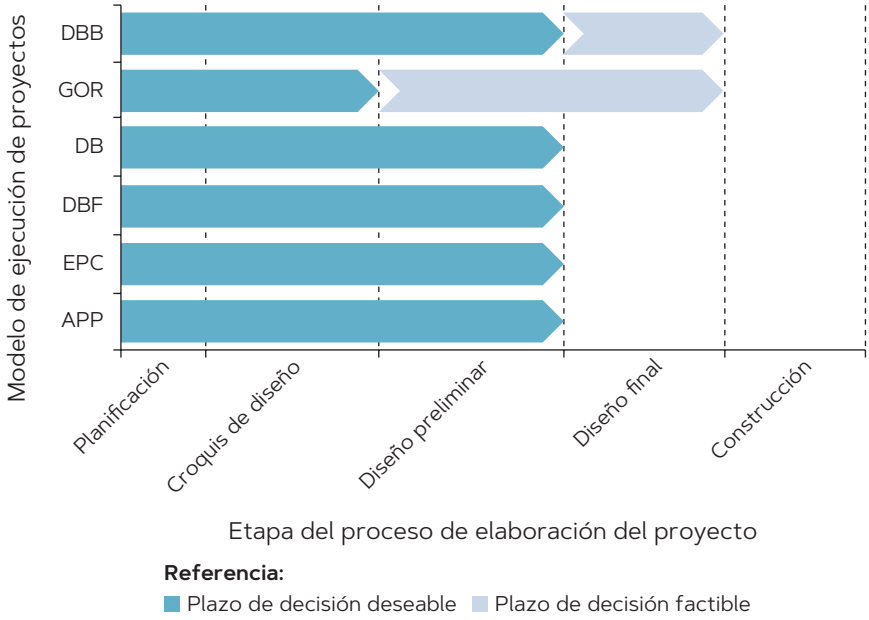
Nota: CSGP = consultor de supervisión de la gestión de proyectos.

La elección del mejor modelo de ejecución de proyectos

Las posibilidades de elegir entre los diferentes modelos de ejecución de proyectos o métodos de adquisición se van reduciendo a medida que el proyecto avanza por las distintas fases del proceso de elaboración (véase el gráfico 8.3). En la mayoría de los modelos de ejecución de proyectos, contratar a un constructor con experiencia a la mayor brevedad posible genera múltiples beneficios (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009). Asimismo, las decisiones relativas a la estrategia de adquisiciones[8] pueden afectar el nivel de diseño necesario antes de la agrupación de ofertas y la solicitud de propuestas. Es aconsejable elegir el tipo de ejecución en las primeras instancias del proceso de elaboración del proyecto, de modo que el diseño y los documentos de licitación puedan elaborarse debidamente en función del modelo de ejecución correspondiente (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009).

La definición de un modelo de ejecución de proyectos constituye una decisión crucial que puede influir en el costo, los plazos y la calidad de la ejecución del proyecto. No existe un único "método ideal" para la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos. A la hora de decidir cuál es el modelo más conveniente, el organismo de ejecución del proyecto debe considerar 1) las características del proyecto y su economía política, y 2) su propio nivel de sofisticación, experiencia, aptitudes y capacidad financiera.

GRÁFICO 8.3. Momentos de selección de modelos de ejecución de proyectos



Fuente: Adaptado de Junta de Investigación sobre Transporte, 2009, 18.
Nota: GOR = gerente de obras en riesgo; DB = diseño y construcción; DBB = diseño, licitación y construcción; DBF = diseño, construcción y financiamiento; EPC = ingeniería, adquisición y construcción; APP = asociación público-privada.

En esta sección se analizan estos "factores determinantes" relacionados con el proyecto y el organismo, y cómo se relacionan con los modelos de ejecución de proyectos descritos en la sección anterior. Si bien es imposible tratar estos factores determinantes como entidades completamente independientes, el análisis apunta a minimizar las superposiciones y redundancias entre ellos, y también las relacionadas con las interacciones con los diferentes modelos de ejecución de proyectos. Relacionar las necesidades del proyecto y del organismo de ejecución del proyecto con las fortalezas y las deficiencias de los distintos modelos de ejecución de proyectos permite crear un marco sistemático y estructurado con el cual determinar el mejor modelo de ejecución y documentar esta decisión de manera transparente ante los financiadores y otras partes interesadas.

Factores determinantes relacionados con el proyecto

Al elegir cuál es el mejor modelo de ejecución, es necesario considerar algunos factores determinantes clave relacionados con el proyecto, entre ellos las

restricciones de tiempo, las necesidades relacionadas con la flexibilidad, las necesidades de servicios previos a la construcción, el nivel de interacción en el proceso de diseño y las restricciones financieras del organismo de ejecución del proyecto.

Costos

Los costos incluyen varios aspectos del costo del proyecto, como la capacidad de manejar las restricciones presupuestarias, la factibilidad de una estimación temprana y precisa de los costos, y el control sistemático de los costos del proyecto. Pese a que en un modelo tradicional de DBB los costos ya se conocen al momento de la licitación, antes del inicio de la construcción, luego de la adjudicación suelen surgir órdenes de modificaciones y costos adicionales (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009). En los modelos de ejecución alternativos, los proyectos se licitan en paquetes múltiples o a un menor nivel de diseño donde los costos del contrato no se conocen con antelación. El diseño deficiente del proyecto, los sondeos geotécnicos inadecuados, los hallazgos patrimoniales, las edificaciones con cimientos cercanos, la identificación ineficiente de los servicios públicos que se han de eliminar y las demoras en la expropiación en partes clave del trazado son problemas frecuentes en los proyectos ferroviarios urbanos que redundan en costos mucho mayores que los previstos inicialmente.

Cronograma

El organismo de ejecución del proyecto debe decidir si el proyecto se llevará a cabo de acuerdo con un cronograma secuencial normal o si es necesario un cronograma acelerado, donde el diseño y la construcción se superpongan o se elimine el plazo de licitación adicional. Esta decisión supone un análisis financiero del posible costo que representaría un cronograma acelerado en comparación con el valor de una finalización temprana, así como un examen de la factibilidad técnica y el marco normativo de la opción acelerada (Gordon, 1994). En general, un modelo tradicional de DBB supone el cronograma de ejecución más extenso de todos, debido a su naturaleza lineal, y el mayor potencial de demoras. Los modelos de ejecución alternativos pueden acortar el cronograma del proyecto, pero, si se escoge una opción acelerada, se requerirá un esfuerzo adicional por parte del organismo de ejecución del proyecto en relación con las revisiones del diseño y la construcción (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009).

Flexibilidad

La flexibilidad hace referencia al grado de flexibilidad que puede necesitar el organismo de ejecución del proyecto durante el proceso de construcción.

Muchos proyectos ferroviarios urbanos son demasiado grandes o complejos para que su diseño se realice anticipadamente en su totalidad, por lo que el proceso requiere de cierta flexibilidad. Es posible que algunos organismos no puedan finalizar los documentos de construcción debido a la indecisión o la falta de consenso político, requerimientos de permisos, fluctuaciones del mercado, restricciones de tiempo o desconocimiento del estado en que se encuentra el emplazamiento (Gordon, 1994). En estos casos, los enfoques de DB y APP ofrecen mayor flexibilidad, lo que permite que los proyectos avancen en circunstancias de mayor incertidumbre.

Asesoramiento previo a la construcción

Los organismos de ejecución de proyectos deben determinar el valor de los servicios previos a la construcción del proyecto, como el aporte del contratista de obras civiles a las estimaciones de costos, la ingeniería de valor y los estudios de viabilidad de la construcción (véase el capítulo 6). Los servicios previos a la construcción pueden revestir particular importancia para los proyectos ferroviarios urbanos, dada su complejidad y su singularidad, en particular cuando el proyecto corresponde a la primera línea de una ciudad. Los organismos de ejecución de proyectos que emprenden su primer proyecto ferroviario urbano no suelen contar con el personal necesario para preparar el diseño básico (o avanzado) ni otros estudios necesarios para prepararse para las adquisiciones. Hay una tendencia a intentar ahorrar costos durante la planificación y el diseño preliminares, por ejemplo, al optar por no realizar sondeos adecuados del suelo y la capa freática. Sin embargo, este recorte de costos no hace más que incrementar el riesgo del proyecto y los costos de la licitación, ya que los consultores o socios privados evaluarán esta incertidumbre en términos económicos. Los financiadores deben cerciorarse de que se cuenta con un diseño de proyecto adecuado que ha sido verificado por un tercero.

Interacción durante el diseño

Los organismos de ejecución de proyectos deben evaluar el grado de interacción que desean tener con los diseñadores. Esta interacción puede revestir particular importancia si se pretende un alto nivel de creatividad en el diseño del proyecto, si la apariencia estética es un factor fundamental o si, como sucede en los proyectos ferroviarios urbanos, la funcionalidad del proyecto (como la prestación de un servicio de transporte ferroviario) resulta esencial. En los modelos de ejecución de proyectos que involucran a un diseñador independiente —como los modelos de DBB o de gerente de obras—, el organismo de ejecución ejerce el control absoluto sobre el diseño. En los métodos de ejecución alternativos, el diseño generalmente está incluido en los contratos de construcción, y los

organismos de ejecución tienen un menor control sobre el diseño detallado (Gordon, 1994).

Mantenibilidad

La mantenibilidad hace referencia a la capacidad del organismo de ejecución del proyecto de especificar la calidad y la facilidad del mantenimiento. En la ejecución tradicional de proyectos de DBB, la posibilidad de acceder a los planes definitivos permite a los organismos de ejecución examinar los problemas de mantenimiento relacionados con los diseños. No obstante, los contratistas tienen pocas oportunidades para realizar aportes referidos a estas cuestiones hasta que el diseño se presenta en el marco de la licitación de la construcción (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009). En los modelos de ejecución alternativos, como GOR y DB, el organismo de ejecución del proyecto puede hacer hincapié en los problemas de mantenimiento incorporando criterios de desempeño en el contrato y puede aprovechar los aportes de la construcción a dichas cuestiones. En otros modelos de ejecución de proyectos como el DBOM, el consorcio privado es responsable del mantenimiento y tiene una importante motivación para presentar diseños óptimos del ciclo de vida. Esto pudo apreciarse en la línea 4 de São Paulo, donde el consorcio ViaQuatro optó por una señalización de control de trenes basado en comunicaciones para reducir los costos de operación (véase el capítulo 5). Los organismos de ejecución de proyectos y los operadores muchas veces pasan por alto este aspecto.

Costos del ciclo de vida

Los modelos de ejecución de proyectos pueden afectar los costos durante la operación y el mantenimiento de los proyectos ferroviarios urbanos. En la ejecución tradicional de DBB, el organismo de ejecución puede controlar los costos del ciclo de vida por medio de un diseño completo y especificaciones de desempeño. Sin embargo, este tipo de ejecución permite aportes mínimos del contratista a la determinación de los costos. En los modelos de ejecución alternativos, el organismo de ejecución del proyecto puede utilizar criterios de desempeño para establecer normas de desempeño durante el ciclo de vida; sin embargo, si estos criterios no se comprenden adecuadamente en la etapa de adquisiciones, probablemente no puedan incorporarse en su totalidad en el contrato (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009).

Factores determinantes relacionados con el propietario del proyecto

A la hora de elegir el modelo de ejecución de proyectos más conveniente, además de las características del proyecto, es necesario tener en cuenta la experiencia y la sofisticación del organismo de ejecución. Los organismos de ejecución

de proyectos del mundo se encuentran en distintos niveles de desarrollo y sofisticación institucionales, y gestionan distintas redes de transporte, desde una única línea de transporte y una única modalidad hasta decenas de líneas y varias modalidades distintas.

Los diferentes modelos de ejecución de proyectos requieren diferentes niveles de capacidad y participación del organismo, que se ven reflejados los "factores determinantes relacionados con el organismo". La consideración de estos factores permite a los organismos de ejecución de proyectos sopesar las alternativas, como la pérdida de cierto grado de control y de flexibilidad en los arreglos contractuales, para compensar su falta de capacidad interna o experiencia.

La cuestión clave es la experiencia del Gobierno con el uso de los diferentes métodos de ejecución y la experiencia del organismo responsable de las adquisiciones en la elaboración de sistemas ferroviarios urbanos. Por ejemplo, los países que tienen más experiencia con APP que con proyectos ferroviarios urbanos pueden elegir un modelo DBFOM integrado en el cual se incorpore la experiencia externa en desarrollo de ferrocarriles urbanos de un consorcio privado y se capitalice la capacidad interna existente para la coordinación de los contratos y la gestión de las interacciones (Phang, 2007).

Experiencia del organismo

La experiencia del organismo de ejecución del proyecto está relacionada con el nivel de comodidad y confianza del personal del organismo en la aplicación de un modelo de ejecución específico. Históricamente, los organismos de transporte del mundo han empleado el DBB como su modelo de ejecución de proyectos. Por consiguiente, la mayoría de los organismos de ejecución de proyectos tienen más experiencia con ese modelo. El personal de los organismos con experiencia en la gestión del modelo de DBB debiera contar con la mayoría de las aptitudes necesarias para gestionar el modelo de ejecución de GOR, debido a las similitudes que existen en las relaciones y las funciones de ambos. En el caso de los organismos de ejecución que no tengan ninguna formación en modelos de DB, es posible que se requiera algún tipo de capacitación (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009). Las APP representan una variación considerable respecto del modelo de DBB, y pocos organismos cuentan con experiencia en estos modelos de ejecución de proyectos. En muchos casos, el organismo de ejecución puede transferir la mayor parte de las responsabilidades tradicionales de su personal al contratista privado. Sin embargo, la pérdida de control que conlleva esta transferencia de responsabilidad puede ser una desventaja si el organismo no tiene experiencia en la gestión y el seguimiento de la subcontratación de los servicios de diseño,

construcción y mantenimiento (Junta de Investigación sobre el Transporte, 2009).

Para los organismos de transporte ferroviario urbano incipientes que se proponen desarrollar su primera línea, resulta particularmente importante contar no solo con un consultor en la gestión de proyectos con una sólida experiencia, sino también con asesores sumamente experimentados que orienten las decisiones clave que este proponga durante la concepción y la ejecución del proyecto. También es necesario contar con un equipo sólido para supervisar a estos asesores e internalizar la experiencia adquirida a lo largo de la ejecución del proyecto (véase el capítulo 4).

Control del proyecto por parte del organismo

Dado que los distintos modelos de ejecución de proyectos prevén distintos puntos de control y distintos pasos para la toma de decisiones, así como una asignación diferente de funciones y responsabilidades para diseñadores y contratistas, confieren al organismo de ejecución del proyecto diferentes niveles de control sobre los detalles del diseño y la calidad de la construcción. En general, la ejecución tradicional de proyectos de DBB brinda al organismo de ejecución el mayor número de controles sobre el diseño y la construcción (lo que, por otro lado, suele dar lugar a costosas órdenes de modificaciones cuando es preciso adaptar los diseños en las instancias posteriores del proceso debido a situaciones imprevistas). Este alto nivel de control que ejerce el organismo implican mayores requisitos en lo que se respecta a su personal y sus capacidades (véase la sección sobre los requisitos de dotación de personal).

Los modelos alternativos de ejecución de proyectos brindan una mayor flexibilidad en detrimento de parte de ese control. En el caso de las líneas nuevas de transporte ferroviario urbano, es muy importante incorporar a un consultor en gestión de proyectos con experiencia reconocida en estos tipos de proyectos y a un consultor sobre supervisión (a menudo identificado como el ingeniero en los documentos de licitación de la Federación Internacional de Ingenieros Consultores [FIDIC]). El organismo de ejecución del proyecto o los financiadores deben considerar la posibilidad de contratar un consultor de supervisión para la gestión de proyectos que brinde asesoramiento sobre identificación y mitigación de riesgos y garantía de calidad y salvaguardas (para conocer más detalles sobre la gestión del proyecto, véase el capítulo 4).

Requisitos de dotación de personal

Los requisitos de dotación de personal hacen referencia al grado de participación del organismo necesario para cada modelo de ejecución en función del número total de empleados de este que se requiere para supervisar el proceso

de desarrollo del proyecto a través de decisiones administrativas, seguimiento de contratistas o gestión *in situ*. En líneas generales, el modelo de DBB requiere un personal más numeroso del organismo de ejecución del proyecto y una participación de este más orientada a los detalles que los demás modelos de ejecución (Gordon, 1994).

En la mayoría de los casos, para una línea de transporte ferroviario urbano nueva, el organismo de ejecución del proyecto debe contar con gerentes, expertos técnicos, contadores y abogados para supervisar el proyecto. En los países de ingreso bajo y medio, no suele ser tan fácil conseguir profesionales que cuenten con la experiencia necesaria. Por lo tanto, durante la elaboración del proyecto, la capacitación práctica del personal propuesto debe formar parte de los términos de referencia de los asesores anteriormente mencionados (véase el capítulo 4).

Capacidad del personal

La capacidad del personal hace referencia al nivel de sofisticación técnica del personal del organismo necesaria para supervisar y gestionar los arreglos contractuales en relación con el diseño y la construcción. Si los organismos de ejecución de proyectos no están preparados, precisarán un modelo que contemple la incorporación de alguna persona, en el marco de una relación fiduciaria, que pueda brindarles asesoría. Tradicionalmente, el modelo de DBB está alineado con las capacidades del personal del organismo; no obstante, a medida que aumenta el tamaño y la complejidad de los proyectos, se necesita personal más experimentado. En los contratos de GOR, el gerente de obras puede ampliar las capacidades del organismo de ejecución del proyecto con su propio personal, mientras que, en los contratos de DB, el organismo debe interactuar con una única entidad responsable tanto del diseño como de la construcción.

Factores determinantes relacionados con el marco jurídico y regulatorio

La mayoría de los países tienen un precedente constante y claro respecto de la implementación de contratos tradicionales de DBB. Sin embargo, al implementar un modelo menos tradicional, es importante tener en cuenta el marco jurídico. Al considerar una APP, es necesario especificar el marco jurídico que regirá las adquisiciones del proyecto a fin de brindar una fundamentación jurídica sólida para el proceso y de establecer los requisitos de preparación e implementación.

Por ejemplo, en el análisis de diferentes modelos de negocios para el proyecto del metro de Bogotá, el organismo de ejecución del proyecto comparó los requisitos de preparación y evaluación establecidos por la nueva

legislación sobre APP (Ley 1508 del año 2012) con los estipulados por la legislación tradicional sobre adquisiciones (Ley 80 del año 1993), que incluye el modelo de concesión de BOT. En el análisis se estableció que la legislación tradicional sobre adquisiciones permitía ciertos modelos de participación privada que no exigían al organismo de ejecución del proyecto llevar a cabo la evaluación detallada ni las diversas aprobaciones requeridas en la ley sobre APP.

Muchas APP pueden no afectar el déficit y la deuda del sector público si cumplen con ciertos criterios (dependiendo de las normas contables a las que adhiera el país). Por lo tanto, elaborar el proyecto a través de una APP puede permitir a un Gobierno desarrollar infraestructura que, de lo contrario, no podría desarrollarse. Este solo hecho podría tener como resultado un abuso peligroso de las APP como instrumentos para evitar las restricciones relacionadas con el déficit o la deuda. Un abuso de este tipo redundaría en una carga indebida para la sociedad, ya sea directamente a través de los cargos impuestos a los usuarios o indirectamente a través del impacto de los futuros pagos del Gobierno (Instituto del Banco Mundial, 2012).

Factores determinantes relacionados con el mercado

Las condiciones actuales del mercado constituyen uno de los principales factores determinantes de la elección de un modelo de adquisiciones. Es necesario evaluar los factores determinantes relacionados con el mercado —como la disponibilidad de contratistas adecuados, la competencia en el mercado, el tamaño de los paquetes del proyecto y la disponibilidad de financiamiento— para ayudar al organismo de ejecución a comprender el entorno comercial en que tendrá lugar la adjudicación del proyecto. Tener un conocimiento profundo del mercado permite a los organismos de ejecución de proyectos elegir el modelo adecuado tomando decisiones informadas que reflejen un equilibrio entre los costos, los riesgos, las necesidades comerciales y los objetivos (Asociación Estadounidense de Transporte Público [APTA], 2010) (véase el recuadro 8.2).

Disponibilidad de contratistas adecuados

Los organismos de ejecución de proyectos deben verificar que haya contratistas adecuados con la experiencia necesaria en el modelo de ejecución de contratos deseado para trabajar en el lugar del proyecto. Por lo general, los bancos multilaterales de desarrollo (BMD) exigen una licitación pública internacional para los proyectos ferroviarios urbanos, lo que brinda a los contratistas y proveedores igualdad de acceso a las oportunidades comerciales y, al mismo tiempo, aumenta la competencia y favorece el logro de objetivos en materia de economía y eficiencia.

RECUADRO 8.2.

Consideración de los factores determinantes relacionados con el mercado en el análisis de las alternativas: línea 18 de São Paulo (Brasil)

Como parte del análisis de las alternativas para el desarrollo de la línea 18 del metro de São Paulo, el Gobierno tuvo que analizar las implicancias relativas al mercado que trae aparejadas el uso de tecnología monorraíl, para la cual existían tan solo tres fabricantes en todo el mundo. El pequeño número de fabricantes de equipamiento monorraíl limitaría la competencia inicial para la licitación del proyecto y las opciones que el Gobierno tendría a su disposición si algo salía mal con el contrato original. Asimismo, el limitado número de actores existentes en el mercado del transporte monorraíl podría conllevar mayores precios de construcción, lo que contrarrestaría los ahorros de costos, considerados la principal ventaja de esta tecnología. En la línea 18 del metro de São Paulo, fue importante comprender las limitaciones y las oportunidades asociadas con la ampliación de la red a través de la tecnología monorraíl.

Competencia en el mercado

Los organismos de ejecución de proyectos deben determinar el grado de competitividad del mercado. Si su estrategia de adquisiciones no está diseñada para fomentar la competencia, pueden licitar el proyecto en un mercado imperfecto, con el riesgo de inflar el precio del proyecto por encima del precio teórico de mercado.

Una forma de atraer la atención de los contratistas más importantes es anunciar de manera clara la visión a largo plazo o el programa para el desarrollo de la red ferroviaria urbana más allá del proyecto en cuestión. Esto puede ayudar a captar a grandes contratistas internacionales que, de lo contrario, posiblemente no estarían dispuestos a participar en una licitación para un único proyecto. También puede incentivar al sector nacional de la construcción a invertir en el desarrollo de las capacidades necesarias. Si bien los BMD normalmente exigen una licitación pública internacional, lo que intensifica el nivel de competencia, es posible exigir a las empresas internacionales que contraten a contratistas locales para fortalecer la experiencia en el mercado nacional de la construcción.

Tamaño de los paquetes del proyecto

Los organismos de ejecución de proyectos deben decidir cómo agrupar los componentes del proyecto a fin de maximizar la eficiencia y aprovechar al máximo la competencia en el mercado. Si fuera necesario, las obras y

componentes menores pueden combinarse para producir un lote más atractivo que se beneficie con las economías de escala, y los grandes proyectos pueden dividirse en paquetes más acotados (Gordon, 1994). Se trata de una decisión crucial. Los pequeños contratistas se quejan cuando los lotes para licitación son demasiado grandes. En estos casos, solo los grandes contratistas pueden licitar y los pequeños contratistas solamente pueden participar como subcontratistas. Esto puede resultar especialmente problemático en los países de ingreso bajo y medio, donde el sector de la construcción tiene menos experiencia y los grandes lotes generalmente favorecen a los contratistas internacionales.

El organismo de ejecución del proyecto debe equilibrar las economías de escala con el número de posibles licitantes calificados e interesados. Si bien tener un único lote —como sucedió con la línea 1 del metro de Quito, en Ecuador, o con la línea 2 de Salvador, en Brasil— puede generar economías de escala, también puede reducir el número de licitantes. En las líneas 3 y 6 del metro de Santiago, los proyectos se dividieron en varios lotes para aumentar la competencia; lo mismo ocurrió con la línea 5 (fase 2) de São Paulo. El equipo del proyecto debe analizar exhaustivamente el tamaño de los paquetes, de modo que los responsables de tomar las decisiones conozcan todas las ventajas y las desventajas. Debe adoptarse una estrategia óptima de agrupación de contratos que genere los costos generales del proyecto más bajos, en consonancia con los demás objetivos de economía política.

Disponibilidad de financiamiento

Cuando se analiza una opción de APP de financiamiento privado o cuando los organismos de ejecución de proyectos desean obtener financiamiento comercial de manera directa para una parte del proyecto, es importante tener en cuenta la disponibilidad de financiamiento a largo plazo a un costo razonable y la combinación de monedas para mitigar el riesgo cambiario. En el capítulo 10 se analizan las opciones de financiamiento para los proyectos ferroviarios urbanos.

Implicancias de los factores determinantes relacionados con el mercado

Conocer el tipo de competencia que existe es un prerrequisito para formular el enfoque de adquisiciones adecuado (véase el recuadro 8.2). Por ejemplo, en un monopolio o un oligopolio (donde uno o unos pocos proveedores tienen todo el poder), diseñar un enfoque de adquisiciones que se caracterice por la licitación competitiva, donde se transfiera una parte importante del riesgo al proveedor y la selección de proveedores se base en el costo evaluado más bajo, probablemente no genere los resultados más eficaces en función de los costos. En estas circunstancias, es más probable que un enfoque negociado

basado en una determinación de precios a libro abierto potencialmente vinculada con un contrato de más largo plazo resulte más eficaz.

Desde la década de 1990, los fabricantes de ferrocarriles que originalmente se concentraban en sus propios mercados nacionales comenzaron a apuntar a los mercados internacionales. Una serie de fusiones y adquisiciones ha dado lugar al surgimiento de un puñado de gigantes de la construcción de vehículos ferroviarios, y el aumento de la competencia ha redundado en una drástica reducción de los precios (Hein y Ott, 2016). Del lado de la construcción, pocos contratistas cuentan con una experiencia considerable en construcción subterránea en zonas urbanas.

Factores determinantes relacionados con el riesgo

Los organismos de ejecución de proyectos deben adoptar un enfoque basado en riesgos para la elaboración de su estrategia de adquisiciones, y apuntar a elegir la estrategia que les permita maximizar el VpD. Las diferentes estrategias de adquisiciones, incluidos la elección del modelo de ejecución del proyecto y el mecanismo de determinación de precios de los contratos, conllevan diferentes asignaciones de riesgos entre el organismo del sector público y las partes del sector privado. Los principales riesgos financieros que deben asignarse incluyen el riesgo de diseño, el riesgo de construcción, el riesgo de interfaz y el riesgo de O&M (véase el capítulo 7). El enfoque más eficaz para la asignación de estos riesgos consiste en asignar los riesgos del proyecto a las partes que se encuentren en mejores condiciones para gestionarlos.

Elección de un mecanismo de compensación

En cualquiera de los modelos de ejecución de proyectos que se analizan en este capítulo, un contratista puede percibir el pago por el trabajo realizado utilizando distintos mecanismos de compensación. En la mayoría de ellos[9], los pagos corresponden únicamente a las obras civiles o electromecánicas y la provisión de equipamiento (con un componente correspondiente a la tasa de interés y al costo financiero en el caso del modelo de DBF). Sin embargo, en los planes de APP, los pagos se realizan en contraprestación por la construcción y la O&M (DBOM) y también para cubrir el reembolso del financiamiento privado (DBFOM).

El modelo de DBFOM incorpora mecanismos de compensación específicos durante la construcción y las operaciones. Durante la construcción, una parte de los gastos de capital suele ser financiada directamente por el Gobierno. Durante las operaciones, el Gobierno paga al contratista en función del desempeño del sistema o el uso efectivo del servicio (es decir, parte de la compensación

proviene de los ingresos tarifarios o de los pagos del Gobierno vinculados con la demanda). Las opciones para los mecanismos de compensación o de pago en el contexto de las APP se analizan en detalle en el capítulo 9.

El análisis de los mecanismos de compensación que se incluye en esta sección se centra en los métodos de adquisición tradicionales. En este contexto, los mecanismos de compensación se enmarcan en tres categorías principales: precio fijo, precio reembolsable o un híbrido común conocido como "precio máximo garantizado (PMG)".

- Los mecanismos de precio fijo (como suma global o precio unitario) son los más utilizados y son planes en los que el organismo de ejecución del proyecto contrata a una entidad para que ejecute un aspecto determinado del trabajo en contraprestación por un pago fijo acordado. En los proyectos ferroviarios urbanos, el mecanismo de determinación de precios más frecuente sigue siendo la suma global (precio fijo). Este mecanismo también se aplica a "métodos de financiamiento público no convencionales" como el DBF o el DBOM.
- En un contrato de precio reembolsable, el organismo de ejecución del proyecto contrata a una entidad para que ejecute un aspecto fijo o variable del trabajo en contraprestación por un pago basado en un método de cálculo acordado que está vinculado a las cantidades y los costos reales.
- En un contrato de PMG, el organismo de ejecución del proyecto y el contratista acuerdan un precio máximo consistente en un precio básico más diversas contingencias que pueden o no utilizarse.

Precio fijo

Hay dos tipos de compensación de precio fijo: suma global y precio unitario.

Suma global

En un contrato de suma global, el contratista acuerda realizar el trabajo acordado en contraprestación por una suma de dinero fija. Esta suma global generalmente incluye la totalidad de la mano de obra, los materiales, los gastos generales del proyecto, los gastos generales de la empresa y las ganancias. En un contrato de suma global, el contratista asume el nivel máximo de riesgo y la responsabilidad absoluta respecto de todos los costos y las ganancias o pérdidas resultantes, por lo cual se le brinda el máximo incentivo para que demuestre un desempeño eficiente. Asimismo, como la experiencia en costos no es un factor determinante para la compensación, se impone una carga administrativa mínima sobre las partes contratantes (Instituto de Transporte Urbano, 2012).

Un contrato de suma global es adecuado para la adquisición de productos comerciales, la construcción o servicios basados en especificaciones razonablemente definitivas y detalladas, y cuando es posible determinar desde un primer momento un precio justo y razonable, como cuando existe una competencia de precios adecuada, cuando se realizan comparaciones de precios razonables antes de la compra o cuando es posible identificar las incertidumbres vinculadas con el desempeño y realizar estimaciones razonables de su impacto en los costos.

Cuando existe un alto potencial de situaciones imprevistas y el proyecto supone la integración de varios componentes (por ejemplo, llave en mano), los contratistas tienen en cuenta el factor incertidumbre a la hora de fijar el precio. Salvo que los contratistas tengan la certeza de que el diseño del proyecto utilizado para la licitación es detallado y cuenta con la aprobación de terceros, los contratos de suma global no suelen ser su opción preferida. A fin de minimizar los precios de la oferta para pagos de suma global, es necesario definir hitos para el pago que permitan asegurar flujos de efectivo positivos proporcionando capital circulante suficiente para emprender el siguiente paso del proyecto. Además, deben redactarse de manera detallada y clara cláusulas donde se estipule cómo abordar condiciones problemáticas relacionadas con el suelo o la capa freática que no se hayan identificado en el proyecto. Si el diseño del proyecto no es lo suficientemente detallado y los sondeos geotécnicos no son exhaustivos, lo más probable es que los licitantes asignen un componente de contingencia de riesgos considerable a sus precios.

Precio unitario

En un contrato de precio unitario, el contratista acuerda recibir un pago basado en un costo fijo por unidad de cada elemento; por ejemplo, por metro de vía. El monto total que se paga corresponde a las unidades medidas reales efectivamente construidas en el proyecto, multiplicadas por el precio unitario acordado. El costo unitario para cada elemento normalmente incluye la totalidad de la mano de obra, los materiales, los gastos generales del proyecto y los gastos generales de la empresa.

Los contratos de precio unitario se utilizan cuando no es posible determinar las cantidades con antelación; por ejemplo, cuando el grado de incertidumbre es demasiado alto para permitir una oferta de suma global sin un componente de contingencia considerable o cuando las cantidades pueden variar significativamente durante la ejecución dentro de ciertos límites (Instituto de Transporte Urbano, 2012). Este es el método más comúnmente usado para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos y el preferido de los contratistas.

Precio reembolsable

Los contratos de precio reembolsable son adecuados cuando la naturaleza y la complejidad de las adquisiciones hacen que los costos y el desempeño no puedan estimarse con la precisión necesaria para optar por un contrato de precio fijo. Dado que este tipo de contrato brinda un menor incentivo para un desempeño eficiente, es necesario incluir disposiciones orientadas a garantizar una vigilancia adecuada por parte del personal del organismo a fin de restringir la ineficiencia de los gastos realizados por el contratista (Instituto de Transporte Urbano, 2012).

Hay dos tipos de contratos de precio reembolsable:

- *Costo incrementado.* El contratista recibe un reembolso por el costo de la realización del trabajo, que incluye la mano de obra, los materiales y los gastos generales del proyecto, más un monto adicional (que incluye los gastos generales de la empresa y las ganancias). Este monto adicional puede ser una suma fija, un porcentaje del costo o una fórmula que incorpore ambos.
- *Monto fijo.* El contratista recibe como pago una suma global, que incluye los gastos generales de la empresa y las ganancias, pero se le reembolsan la mano de obra, los materiales y los gastos generales del proyecto.

Precio máximo garantizado

En un mecanismo de PMG, el contratista recibe un reembolso por el costo de la realización del trabajo (que incluye la mano de obra, los materiales y los gastos generales del proyecto), y se le paga un monto adicional (que incluye los gastos generales de la empresa y las ganancias) hasta un precio máximo previamente acordado. Una vez que se alcanza dicho precio, el contratista está obligado a terminar el trabajo sin que el organismo de ejecución del proyecto deba pagar ningún costo adicional. Si, al terminarse el trabajo, no se ha alcanzado el precio máximo establecido, la diferencia de costos generalmente se reparte entre el organismo y el contratista a modo de incentivo para que este último reduzca los costos. Un mecanismo de PMG puede ser muy útil como un contrato de precio reembolsable con un límite máximo, pero, por el otro lado, también puede generar una falsa sensación de seguridad cuando el PMG es poco realista. Si es demasiado bajo, puede dar lugar a relaciones contenciosas en torno a la suma global. Si es demasiado alto, no se garantiza un precio razonable al organismo de ejecución del proyecto.

La decisión del organismo relativa al mecanismo de determinación de precios del contrato debe girar en torno a la asignación del riesgo financiero, vale decir, el riesgo que supone no saber cuál será el costo final del proyecto (Gordon, 1994). La optimización del costo del proyecto dependerá de la debida

evaluación y asignación de los riesgos y de que cada parte gestione los riesgos que se le asignen (véase el recuadro 8.3). Los riesgos deben equilibrarse entre el organismo de ejecución del proyecto y el contratista o el diseñador a fin de

RECUADRO 8.3.

Mecanismos de determinación de precios de los contratos: línea 1 del metro de Quito y línea 4 del metro de São Paulo

Línea 1 del Metro de Quito

Dada la complejidad y el nivel de diseño de la construcción de la línea 1 del metro de Quito, el Gobierno de Ecuador decidió implementar un contrato de precio unitario para la construcción de 23 kilómetros de túnel subterráneo, 13 estaciones subterráneas, un patio de maniobras y un taller de mantenimiento, y todas las instalaciones para la operación del metro, desde vías hasta equipamiento de electrificación (para conocer más detalles, véanse los cuadros 8A.1 y 8A.2 del anexo de este capítulo). Este contrato se formuló a partir de formularios contractuales estándar para proyectos internacionales de construcción elaborados por la FIDIC.

El Gobierno de Ecuador utilizó un contrato de construcción de la FIDIC (condiciones contractuales para obras de construcción e ingeniería diseñadas por el empleador) adaptado para su uso en proyectos financiados por BMD. Estos contratos están divididos en dos partes: la primera contiene condiciones generales y la segunda, condiciones específicas relacionadas con el proyecto. El beneficio de utilizar contratos de la FIDIC reside en que establecen un enfoque claro y equilibrado de las obligaciones y las responsabilidades de cada parte (contratista y adjudicatario del contrato) y procedimientos transparentes para la asignación de riesgos. Asimismo, el Gobierno contrató a una empresa de consultoría especializada en contratos internacionales de construcción de la FIDIC para que brindara apoyo en el diseño de las partes I y II del contrato.

Línea 4 del metro de São Paulo

El proyecto de la línea 4 del metro de São Paulo se elaboró a través de dos contratos principales: a) un contrato llave en mano de precio fijo para la provisión de la obra civil y la electrificación para los 12,8 kilómetros de línea de metro financiados por el Estado de São Paulo, el Banco Japonés de Cooperación Internacional y el Banco Mundial, y b) una concesión para operar el sistema durante un plazo de 30 años en contraprestación por la provisión de material rodante y sistemas, financiada principalmente por el sector privado y el Estado. Tras la firma del contrato llave en mano, el *real* brasileño comenzó a revalorizarse respecto del dólar estadounidense y la inflación comenzó a aumentar, aunque a un ritmo constante. Estas tendencias macroeconómicas afectaron las fórmulas de reajuste anual de precios del contrato llave en mano y generaron la necesidad de financiamiento adicional por parte de los financiadores del proyecto y de una mayor proporción de fondos de contrapartida de parte del Estado de São Paulo. El impacto del reajuste en el precio del contrato se estimó en USD 75 millones. Esto pone de manifiesto el hecho de que incluso los contratos de precio fijo incluyen cláusulas de reajuste que pueden redundar en un precio final más elevado.

aprovechar el valor que tiene como incentivo el hecho de cargar con un riesgo y, al mismo tiempo, minimizar una contingencia que se cobra por aceptar el riesgo (Levitt, Ashley y Logcher, 1980). La eficiencia de un contratista a la hora de abordar el riesgo depende de su poder para controlar el riesgo, de la posible recompensa que obtendrá por controlar el riesgo y de su posición financiera para asumir el riesgo. La mayoría de los contratistas incluyen en sus ofertas un importante elemento de contingencia para cualquier costo desconocido o incierto respecto del cual les corresponda asumir el riesgo financiero. Muchos organismos de ejecución de proyectos asignan el mayor riesgo financiero posible al contratista con el propósito de incentivar la productividad. Sin embargo, para que la transferencia de este riesgo resulte creíble, es necesario que el paquete de seguridad incluido en el contrato (como las garantías de cumplimiento o la retención de pagos) tenga una envergadura acorde que refleje este mayor nivel de riesgo. Si no lo tiene y el riesgo se materializa, el contratista puede simplemente marcharse y endosar el riesgo al organismo de ejecución del proyecto (véase el capítulo 7).

El organismo de ejecución del proyecto debe elegir un contrato o una serie de contratos que permitan asignar el riesgo financiero de la manera más eficiente posible a las distintas partes del proyecto. Transferir la totalidad del riesgo a un contratista con un contrato de suma global (precio fijo) solamente se recomienda cuando el proyecto está muy bien definido, algo que resulta particularmente difícil en los emprendimientos de ferrocarriles urbanos, dada su naturaleza polifacética y su complejidad (Gordon, 1994). Este plan de determinación de precios funciona mejor con los modelos de ejecución de proyectos en los que la adjudicación tiene lugar en una instancia posterior dentro del proceso de desarrollo del proyecto, luego de que se ha finalizado gran parte del diseño detallado y el costo del proyecto se conoce con precisión. El otro extremo, un contrato de costo incrementado (precio reembolsable) puro, no se recomienda casi nunca, salvo en los casos excepcionales en que el organismo de ejecución del proyecto confía plenamente en su capacidad para controlar los costos.

Elección y diseño del proceso de licitación

Elección del proceso de licitación

En términos muy amplios, el proceso de adquisición o selección de un contratista puede consistir en una licitación pública, una propuesta no solicitada o una selección directa:

- Por lo general, el enfoque preferido para las adquisiciones de proyectos ferroviarios urbanos es la licitación pública, con muy pocas excepciones. Los BMD generalmente exigen adquisiciones públicas internacionales para los contratos complejos, de alto riesgo o de alto valor, como la adquisición de bienes y servicios para el transporte ferroviario urbano, y se ha demostrado que este método genera importantes ahorros (recuadro 8.4). Entre las excepciones se incluyen situaciones en las que tan solo un número limitado de empresas puede suministrar los bienes y servicios necesarios.
- En las selecciones directas, el organismo de ejecución del proyecto se acerca a una única empresa para entablar negociaciones. Las selecciones directas resultan recomendables solo en algunos casos, como en contratos de bajo valor o en situaciones en las que el equipamiento es de dominio privado y puede obtenerse exclusivamente de una única fuente. En líneas generales, la selección directa no es considerada aceptable en el marco del financiamiento de BMD y otras organizaciones bilaterales.
- Las propuestas no solicitadas o los "proyectos de iniciativa privada" tienen algunos beneficios y pueden resultar adecuados en determinadas circunstancias, en especial cuando permiten algún grado de tensión competitiva (que permite a los terceros interesados licitar en el marco de una licitación abierta, incluso cuando se reservan algunas ventajas limitadas al responsable de la iniciativa privada)[10]. No obstante, su uso no debe considerarse para proyectos que requieren de una planificación estratégica y adecuada.

La regla general debe ser la licitación pública internacional. Según la *Guía de certificación de APP* del Banco Mundial, "La competencia es lo que posibilita la innovación, dado que las empresas expuestas a una presión competitiva tienen el incentivo de innovar para ser eficientes y para evaluar y gestionar de manera proactiva los riesgos con la mayor eficiencia posible. Evidentemente, sin competencia, el precio del mismo proyecto con el mismo enfoque será mayor" (Instituto del Banco Mundial, 2012).

Un proceso de licitación pública puede organizarse y manejarse de distintas maneras (en la medida en que así lo permita el marco de adquisiciones en cuestión). Un proceso de licitación típico se estructura y se rige por un documento o un conjunto de documentos comúnmente conocidos como solicitud de propuestas (SdP). Las SdP incluyen los requisitos que deben cumplimentarse para presentar una oferta admisible, los criterios que se utilizarán para seleccionar al adjudicatario y (ya sea dentro del mismo documento o en un anexo) el contrato. La SdP puede incluir los criterios de calificación (es decir, las condiciones relativas a la capacidad que debe reunir cada uno de los licitantes para que se

RECUADRO 8.4.

La importancia de promover la competencia en las adquisiciones de material rodante: Río de Janeiro (Brasil)

A lo largo de las últimas dos décadas, el estado de Río de Janeiro ha realizado importantes inversiones en la modernización de su sistema ferroviario urbano, operado en el marco de un plan de concesión a largo plazo con el operador privado SuperVia. En el marco de esta APP, el Estado se comprometió a invertir en nuevos trenes, y SuperVia se comprometió a rehabilitar la infraestructura ferroviaria, el equipamiento eléctrico y de señalización, y las estaciones. Con el financiamiento del Banco Mundial, el Estado adquirió 112 nuevos trenes (con cuatro vagones cada uno) que brindan una mayor comodidad a los usuarios y una mejor eficiencia energética gracias a su tecnología de frenado regenerativo (véase la imagen B8.4.1). La adquisición exitosa de los trenes fue fundamental para mejorar la calidad, la frecuencia y la fiabilidad del servicio de trenes. Esta mejora atrajo a una mayor cantidad de usuarios al

IMAGEN B8.4.1. **Nuevo tren adquirido con financiamiento del Banco Mundial junto a modelo más viejo aún en servicio**

Fuente: Daniel Pulido, Banco Mundial.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 8.4.

La importancia de promover la competencia en las adquisiciones de material rodante: Río de Janeiro (Brasil) *(Continuación)*

sistema de transporte público, desalentó el uso de vehículos particulares y redujo las emisiones de carbono y los contaminantes del aire.

Un proceso de licitación para la adquisición de un lote de 60 trenes que se puso en marcha en 2011 culminó en un contrato entre el Estado y el consorcio CMC-CNRCRC en octubre de 2012. El proceso se emprendió en tiempo récord y captó la atención de la mayoría de los proveedores de equipamiento internacionales. El precio de la oferta más baja seleccionada fue un 40 % menor que el estimado en el presupuesto (a partir del promedio de procesos de adquisiciones similares en Brasil) y un 18 % menor que la adquisición de trenes anterior realizada por el Estado. Con estos ahorros, el Estado pudo adquirir más trenes.

El éxito de este proceso de adquisición fue el resultado de los esfuerzos por promover una mayor competencia. En su afán por atraer a tantos proveedores internacionales como fuera posible, el Estado decidió no incluir una cláusula de preferencia nacional (a diferencia de otros procesos de adquisición de trenes en Brasil). Además, contrariamente a lo dispuesto por las regulaciones locales, tampoco divulgó un precio de referencia en los documentos de licitación. Esto le permitió adquirir equipamiento de alta calidad que cumpliera con todos los requisitos técnicos del operador del sistema a un precio competitivo.

A partir de la enseñanza de esta experiencia positiva, el Estado buscó aumentar la competencia en su próximo proceso de adquisición de material rodante. En 2015, las especificaciones del proceso de licitación fueron aún más flexibles (al permitir cualquier tren con cuatro u ocho vagones y normas estadounidenses o europeas) con el fin de atraer a más licitantes y maximizar la competencia.

En la adquisición de trenes financiados por el Banco Mundial, tanto para el metro de São Paulo como para la empresa de tren suburbano (CPTM), los resultados de la licitación pública también fueron impresionantes en comparación con adquisiciones anteriores. Sin embargo, los resultados no fueron tan buenos como en Río de Janeiro, puesto que el Estado optó por adoptar una cláusula de preferencia nacional que favorecía a los fabricantes que construyeran trenes en São Paulo. Esto dio lugar a una propuesta ganadora que no fue la más baja una vez que se agregó el recargo del 15 % estipulado en las disposiciones de preferencia nacional.

acepten sus ofertas), o bien las calificaciones pueden solicitarse previamente por medio de un documento específico, generalmente denominado solicitud de calificaciones (SdC).

Lo primero que debe decidirse al diseñar la estrategia de licitación es si se establecerán dos fases —1) una "precalificación" para evaluar la suficiencia de la

capacidad o calificar a los licitantes a través de una SdC, y 2) una invitación a los candidatos precalificados a presentar sus ofertas a través de una SdP— o si el proceso se organizará en una única etapa donde las calificaciones y las ofertas se presenten simultáneamente. La precalificación resulta adecuada para los contratos grandes o complejos donde hay una necesidad de equipamientos diseñados a medida o servicios especializados. También resulta adecuada en procesos de adquisiciones para APP que integran varios servicios y donde los elevados costos que insume la preparación de propuestas u ofertas detalladas desalentarían la competencia (Banco Mundial, 2016).

La selección del tipo de proceso de licitación más conveniente dependerá de diferentes factores y objetivos (como el nivel de detalle del diseño finalizado y la disponibilidad de tecnología aplicable, la envergadura del proyecto, la importancia de los riesgos, la existencia de plazos políticos acotados y lo que permita la legislación vigente). Cuanto más complejo sea el proyecto, más conveniente resultarán la interacción y la comunicación con el sector privado. Un aspecto clave para el éxito del proceso de selección es crear espacios para un diálogo productivo entre los sectores público y privado. Sin embargo, la legislación no siempre permite este tipo de enfoque.[11]

Diseño del proceso de licitación

Una vez que el propietario del proyecto ha elegido el tipo de proceso de licitación, debe definir cómo seleccionará al contratista o los contratistas que se encargarán de la ejecución del proyecto (y con qué precio) en la SdP (y, en algunos casos, la SdC como documento aparte). El propietario aprovecha las fuerzas del mercado y la experiencia para obtener el valor deseado al precio más razonable. El principal objetivo del proceso de selección o adjudicación es garantizar la economía, la eficiencia y la transparencia en la ejecución del proyecto. Para lograr estos objetivos, es indispensable definir las especificaciones técnicas del proceso, establecer requisitos de calificación claros y equilibrados, y fomentar una competencia sólida y fiable seleccionando criterios de evaluación adecuados.

Definición de las especificaciones del proyecto

Definir las especificaciones del proyecto es el primer paso del proceso de adquisiciones y licitación, del que dependerá, en mayor medida, el éxito de dicho proceso. Cuanta más responsabilidad se transfiera al sector privado, más importante será especificar objetivos de desempeño claros que sean específicos, cuantificables, alcanzables y razonables, y tengan plazos definidos; incluir penalizaciones o deducciones en los pagos por incumplimiento de estos objetivos de desempeño, y establecer mecanismos de seguimiento del desempeño y medios para aplicar

penalizaciones por incumplimiento de los objetivos. El nivel de detalle de las especificaciones depende del modelo de ejecución del proyecto utilizado y de la integridad de los documentos de diseño.

Establecimiento de los requisitos de calificación

El organismo de ejecución del proyecto debe definir los requisitos de calificación (o precalificación) técnicos, financieros y legales para asegurarse de que los licitantes tengan la capacidad necesaria para emprender el proyecto. No obstante, establecer requisitos excesivamente rigurosos puede limitar la competencia, sobre todo en mercados donde los posibles licitantes calificados pueden no estar en actividad por consideraciones de escala. En el cuadro 8A.1 del anexo de este capítulo se resumen los requisitos de precalificación y calificación de algunos proyectos ferroviarios urbanos recientes.

Para impedir la posibilidad de colusión en los procesos de licitación, algunos organismos de ejecución de proyectos han impuesto límites en las tasas de rendimiento a través de precios de referencia máximos en lugar de dejar que sea el mercado el que defina el precio. La idea es que limitar la tasa de rendimiento protege al propietario de pagar un precio excesivamente alto si las empresas interesadas se complotan para presentar una única oferta para el proyecto. Por otro lado, este enfoque también puede limitar el interés de los posibles licitantes y reducir la competencia. Por tal motivo, es importante abrir el proceso de adquisiciones a las empresas internacionales y eliminar cualquier requisito que pueda impedir la participación de empresas extranjeras.

Análisis de los criterios de selección

Dada su envergadura y su naturaleza, los proyectos ferroviarios urbanos se desarrollan a través de contratos multimillonarios que cubren los servicios previos a la construcción, la construcción y la supervisión. Los organismos de ejecución de proyectos estarán sometidos a presiones de los diferentes sectores y deberán asegurarse de llevar adelante el proceso de adquisiciones prestando la debida atención a la necesidad de garantizar la transparencia, la integridad y la imparcialidad. Esto es muy importante, particularmente porque, en algunos países, los partidos políticos pueden solicitar contribuciones tanto legales como ilegales de los grandes proyectos de obras civiles. Los BMD establecen rigurosas cláusulas contra la corrupción y el fraude, y las salvaguardas contra estos delitos son fundamentales para cualquier proyecto.

El riesgo de fraude puede mitigarse formulando criterios de evaluación o selección claros y transparentes, limitando la subjetividad en la máxima medida posible, y estableciendo manuales y procedimientos internos para la evaluación que garanticen la integridad y la imparcialidad en la máxima medida posible.

Implementar mecanismos de protesta creíbles y eficientes puede ayudar a que los organismos de ejecución rindan cuentas en caso de incumplimiento.

Los proyectos ferroviarios urbanos son iniciativas complejas; como tales, los criterios de selección de propuestas deben aplicarse con prudencia para evaluar a los contratistas. Usar un enfoque de contratación basado en el mayor valor según el cual la selección final se centre en una combinación de factores como el costo, la calidad y la experiencia (más que en la oferta con el precio más bajo) constituye una buena práctica. En general, los mecanismos del mercado orientarán el precio de las ofertas, en el sentido de que las fuerzas del mercado (en caso de haber competencia) determinarán un rango de precios que los concesionarios podrán cobrar por realizar la tarea. De todos modos, puede haber algunos valores atípicos, y cabe la posibilidad de que la selección de la propuesta con el menor costo no siempre vaya de la mano con la de mayor valor. En un estudio reciente, la Autoridad del Metro del Condado de Los Ángeles concluyó que a) los contratistas desconocidos o sin experiencia representan un riesgo elevado para el éxito del proyecto, b) un proceso de adquisiciones basado en el mayor valor constituye una buena práctica, y c) la contratación centrada en la oferta con el precio más bajo en los proyectos grandes y complejos, como los de transporte ferroviario urbano, resulta problemática.

Requisitos de adquisiciones de los BMD

La implementación de un enfoque de adquisiciones adecuado también tiene implicancias en la disponibilidad de financiamiento. El Banco Mundial y otros BMD cuentan con regulaciones bien establecidas en materia de adquisiciones que los prestatarios deben cumplir. Estas regulaciones están diseñadas para garantizar que, al utilizar los fondos de los préstamos, se preste la debida atención a las consideraciones de economía, eficiencia y transparencia.[12]

El Banco Mundial exige a los organismos que ejecutan proyectos con financiamiento del Banco que preparen una estrategia de adquisiciones para proyectos orientada al desarrollo (EAPD) y un plan de adquisiciones específico. En la EAPD debe establecerse de qué modo las actividades relacionadas con las adquisiciones respaldarán los objetivos de desarrollo del proyecto y contribuirán a obtener el mejor VpD en el marco de un enfoque centrado en los riesgos. También debe brindarse una justificación adecuada de los métodos de adquisición seleccionados. En el plan de adquisiciones deben describirse las actividades, los métodos de selección, las estimaciones de costos, los cronogramas y cualquier otra información pertinente para planificar la ejecución del proceso de adquisiciones. Teniendo en cuenta la envergadura y la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos,

la EAPD debe incluir un nivel de detalle y análisis proporcional al nivel de riesgo. Para los financiamientos del Banco Mundial, el organismo de ejecución del proyecto prepara la EAPD y la presenta ante el Banco para su aprobación antes de proceder a las negociaciones relacionadas con el préstamo.

Para los proyectos de APP, las normas del Banco Mundial requieren que el proyecto se haya identificado como una inversión prioritaria o derive de un programa sectorial o un plan de infraestructura nacional. Asimismo, el organismo de ejecución del proyecto (directa o indirectamente el prestatario de un préstamo del Banco Mundial) debe proporcionar pruebas de que el proyecto subyacente está debidamente justificado en virtud de un sólido análisis económico; de que los requerimientos de ingresos del proyecto se encuentran dentro de la capacidad de los usuarios, el Gobierno o ambos para pagar por los servicios de infraestructura, y de que los riesgos del proyecto fueron identificados y evaluados y se contemplaron medidas de mitigación. En cuanto a este último requisito, el prestatario debe presentar una matriz de riesgos en la que se enumeren de manera exhaustiva los riesgos del proyecto y su asignación entre las partes en los acuerdos de APP principal y subsidiarios. Además, debe establecer un mecanismo de pago basado en el desempeño.

En relación con el método de selección, el prestatario debe utilizar un método de selección que se ajuste a las normas sobre adquisiciones del Banco Mundial. Puede proceder con las adquisiciones antes de recibir el financiamiento del Banco, pero será necesario que, tras una evaluación *ex post*, se determine que los procesos de adquisiciones iniciados y los contratos adjudicados se ajusten a las regulaciones sobre adquisiciones del Banco para que el proyecto pueda recibir el financiamiento correspondiente.[13]

Conclusiones y recomendaciones

Habiendo descrito las cuestiones clave que deberán afrontar los organismos de ejecución de proyectos al elegir una estrategia de adquisiciones, resulta útil considerar los resultados reales (en términos de eficiencia, economía y transparencia) de los procesos de adquisiciones recientes en el sector del transporte ferroviario urbano (véase el cuadro 8A.2 del anexo de este capítulo). Además de las enseñanzas recogidas de la experiencia de otros proyectos, se incluyen recomendaciones generales para los responsables de la toma de decisiones encargados de evaluar las adquisiciones de un proyecto ferroviario urbano:

Los organismos de ejecución de proyectos deben invertir en planificación y en estudios de factibilidad como primer paso para determinar la estrategia de adquisiciones más conveniente. Deben concentrarse primero en la

realización de los estudios necesarios para conceptualizar el proyecto y determinar su factibilidad (véanse los capítulos 3 a 6). Los estudios exhaustivos de alta calidad llevados a cabo por consultores capaces constituyen la base del desarrollo exitoso de un proyecto y son un aporte necesario a la hora de elegir la estrategia de adquisiciones más conveniente. Los organismos de ejecución de proyectos deben asignar suficiente tiempo y recursos a la selección, la adjudicación y la supervisión de las empresas que lleven a cabo estos estudios y comunicar esta información a los responsables de la toma de decisiones que eligen el método de adquisición del proyecto.

El método de adquisición debe elegirse en una instancia relativamente temprana del proceso de desarrollo del proyecto, particularmente cuando interviene el sector privado. Esto también se aplica a la selección de un modelo de adquisiciones. Su adecuación es fundamental para el éxito del proyecto, que se define como la ejecución dentro del plazo estipulado, dentro del presupuesto previsto (o eficaz en función de los costos) y dentro de los parámetros de calidad establecidos del proyecto especificado, con una operación segura, eficiente y financieramente sostenible que satisfaga la demanda proyectada con costos generales del ciclo de vida que estén en consonancia con las buenas prácticas del sector. Mientras se elabora el concepto del proyecto, un aporte clave consiste en determinar la forma en que se llevarán a cabo las adquisiciones correspondientes. En algunos casos, las regulaciones sobre adquisiciones, o la falta de tales regulaciones, pueden dar lugar a cambios o ajustes en el concepto del proyecto. Es menos costoso (en términos de presupuesto y demoras) incorporar estos cambios lo antes posible durante la planificación y el diseño preliminar.

No existe un único modelo de ejecución de proyectos "ideal". Es importante que el modelo de ejecución de proyectos se condiga con las características del proyecto, las capacidades generales y de absorción del organismo de ejecución del proyecto, y las características del mercado nacional e internacional. Un estudio minucioso de cada uno de estos factores determinantes relacionados con el proyecto, el organismo y el mercado constituye un aporte significativo al momento de decidir cuál es la estrategia de adquisiciones más conveniente.

Resulta indispensable analizar los requisitos de los BMD para facilitar la aprobación y la provisión de financiamiento de estas fuentes. Es importante anticiparse a los requisitos de los BMD para facilitar la aprobación y la provisión de financiamiento multilateral, especialmente cuando el proyecto se inicia sin su apoyo. Más adelante, si se les solicita que consideren la posibilidad de otorgar financiamiento, el cumplimiento de sus normas de adquisiciones será un aspecto importante a la hora de obtener la autorización.

Es importante asegurarse de que la gerencia y el personal del organismo de ejecución del proyecto tengan la capacidad necesaria para implementar el modelo de ejecución elegido. De lo contrario, deberán complementar su capacidad interna con la experiencia externa necesaria para gestionar adecuadamente la implementación y la supervisión del modelo seleccionado. Este es un punto particularmente crítico para los organismos de ejecución de proyectos en los países o las ciudades que construyen su primera línea ferroviaria urbana.

Entre los posibles consultores a los que el organismo de ejecución del proyecto puede contratar para complementar o suplir su experiencia se incluyen los siguientes: 1) un consultor en preparación de proyectos especializado en sistemas ferroviarios urbanos; 2) un consultor en ingeniería de proyectos para que prepare el diseño detallado; 3) un consultor en ingeniería de valor para que apruebe el diseño del proyecto propuesto; 4) un consultor en gestión de proyectos para que gestione la ejecución del proyecto, y 5) un consultor en supervisión para que supervise y apruebe la ejecución del proyecto y las órdenes de modificaciones. El organismo de ejecución puede optar por adquirir los servicios de un consultor en gestión de proyectos durante las primeras instancias del proyecto para que se encargue de gestionar gran parte de las funciones de preparación, licitación, ejecución y supervisión (véase el capítulo 4). Cuando las adquisiciones se basen en un enfoque de APP, es importante determinar la presencia de un asesor de operaciones con experiencia específica en la estructuración técnica, jurídica y financiera de las APP en este sector, y la función que este desempeñará (véase el capítulo 9).

Anexo 8A. Requisitos de calificación y resultados correspondientes a adquisiciones de proyectos ferroviarios urbanos recientes

CUADRO 8A.1. Requisitos de calificación correspondientes a proyectos recientes

PROYECTO	COMPONENTE	REQUISITOS PRINCIPALES
Línea 2 del metro de Lima (DBFOM)	*Construcción*	*Experiencia específica* (a) 1 proyecto de 15 kilómetros, 15 estaciones y una inversión de USD 800 millones o 4 proyectos que asciendan a un total de 20 kilómetros, 20 estaciones y una inversión de USD 1000 millones; (b) 10 años en abastecimiento e instalación de equipamiento electromecánico con un mínimo de 15 kilómetros de PAT *Capital* USD 500 millones *Existencia* Mínimo 7 años
	Operación	*Experiencia específica* Operación de un mínimo de 1 tipo de sistema ferroviario subterráneo de metro o sistema ferroviario urbano con más de 150 millones de pasajeros al año; no pueden considerarse los pasajeros de más de 1 sistema *Capital* USD 200 millones *Existencia* Mínimo 10 años
	Material rodante	*Experiencia específica* Producción anual promedio de 240 vagones de tren (metro) urbano; producción de 20 trenes anuales con tecnología de ATP *Capital* USD 400 millones *Existencia* Mínimo 7 años

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 8A.1. Requisitos de calificación correspondientes a proyectos recientes
(Continuación)

PROYECTO	COMPONENTE	REQUISITOS PRINCIPALES
Línea 6 de São Paulo (DBFOM)	*Construcción*	(a) Participación en la inversión de al menos BRL 2000 millones; (b) implementación de túnel subterráneo con uso del método de TBM con tramo mínimo de 25 metros cuadrados y extensión mínima de 2200 metros en zona urbana; c) experiencia en la ejecución de superestructura ferroviaria con uso de sistema de masa efectiva (masa-muelle)
	Operación	Operación de línea de metro con un promedio mínimo de 200 000 pasajeros diarios, durante un mínimo de 6 meses consecutivos
	Requisitos financieros	Patrimonio neto de un mínimo de BRL 850 millones (individual) o BRL 1100 millones (consorcio)
Línea 1 del metro de Lima (EOT)	*Operación*	Experiencia como operador de uno o más sistemas de subterráneo, metro ligero o tranvía, o sistema ferroviario urbano interurbano de pasajeros, con una demanda mínima en los últimos 3 años de 20 millones de pasajeros transportados al año. Esta experiencia puede acreditarse a través de un socio estratégico.
	Material rodante	Ser un proveedor de material rodante que haya vendido un mínimo de 250 vagones en los últimos 3 años
	Requisitos financieros	Patrimonio neto de un mínimo de USD 40 millones Ventas de un mínimo de USD 80 millones anuales
Línea 4 de São Paulo (EOT)	*Participación en proyectos de gran envergadura*	Demostrar participación en un mínimo de 1 proyecto en el cual el monto de la inversión haya sido de USD 150 millones, como mínimo. Demostrar participación en otros proyectos en los cuales el monto de la inversión para cada uno haya sido de USD 50 millones, como mínimo.
	Operación	Haber operado durante un plazo mínimo de 3 años consecutivos sistemas ferroviarios o metro, individualmente o en el marco de un consorcio, con al menos 250 000 pasajeros diarios, obtenidos en los últimos 2 meses
	Requisitos financieros	Patrimonio neto de un mínimo de BRL 81,7 millones
Línea 1 de Quito (DBB)	*Línea 1 de Quito (DBB)*	(a) Indicador de endeudamiento: ≤ 85 % para el consorcio (promedio ponderado) y ≤ 80 % para cada socio (últimos 5 años); b) rentabilidad promedio (últimos 5 años) > 0 para cada socio y para el consorcio; c) activos líquidos mínimos: para el consorcio ≥ USD 150 millones; d) facturación promedio (últimos 5 años): para el consorcio > USD 1100 millones, para el líder > USD 550 millones

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 8A.1. Requisitos de calificación correspondientes a proyectos recientes
(Continuación)

PROYECTO	COMPONENTE	REQUISITOS PRINCIPALES
Línea 1 de Quito (DBB)	*Construcción*	*Experiencia general* Experiencia en contratos de construcción finalizados en los últimos 10 años: a) un mínimo de 1 contrato ≥ USD 500 millones (líder); b) un mínimo de 2 contratos ≥ USD 300 millones; c) otros contratos de hasta USD 2200 millones en contratos con montos ≥ USD 100 millones cada uno *Experiencia específica* Experiencia en contratos para la construcción de obras a nivel, elevadas o subterráneas finalizadas en los últimos 10 años con avances físicos superiores al 70 %: a) un mínimo de 2 contratos ≥ USD 350 millones; para el líder: un mínimo de 1 contrato ≥ USD 350 millones; b) al menos 1 contrato debe integrar obra civil con un mínimo de 3 contratos de equipamiento e instalaciones; c) otros contratos de hasta USD 1650 millones en contratos con montos ≥ USD 75 millones; para el líder: un mínimo de USD 825 millones en contratos de más de USD 75 millones *Experiencia clave* Experiencia mínima en proyectos en los cuales los avances físicos sean iguales o superiores al 70 % del contrato (últimos 10 años) Componente 1: a) Túneles para vía doble simultánea, con maquinaria de excavación de túneles TBM o EPB, que hayan añadido un mínimo de 6 kilómetros de extensión; para el líder: 3 kilómetros; b) túneles para vía doble simultánea, un mínimo de 2 kilómetros de extensión, a través de método convencional o tradicional (sin incluir falso túnel); para el líder = 1 kilómetro; c) un mínimo de 100 000 metros cúbicos de muros subterráneos de hormigón armado, ejecutado por falso túnel o entre pantallas, en diferentes obras de infraestructura; para el líder = 50 000 metros cúbicos *Componente 2:* Un mínimo de 3 proyectos en las siguientes áreas: señalización, subestaciones eléctricas, distribución de energía, electrificación, telecomunicaciones y control central; sistema de equipamiento e instalaciones ≥ USD 150 millones, en un máximo de 4 contratos. Al menos 1 de los contratos debe ser por un mínimo de 7 kilómetros de línea y 4 estaciones de pasajeros.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 8A.1. Requisitos de calificación correspondientes a proyectos recientes
(Continuación)

PROYECTO	COMPONENTE	REQUISITOS PRINCIPALES
Línea 1 de Quito (DBB)	*Material rodante*	*Experiencia específica en fabricación* (a) Contratos de abastecimiento e implementación de operaciones para material rodante pesado para sistemas de metro; un mínimo de 10 contratos en los últimos 15 años; b) demostrar que la planta de fabricación de trenes propuesta ha estado fabricando material rodante durante 10 años, como mínimo; c) demostrar que la planta de fabricación de trenes propuesta ha estado fabricando un mínimo de 800 coches para transporte ferroviario pesado en los últimos 10 años; d) un mínimo de 1 contrato de fabricación de coches para fabricar trenes con GdA2, incluidos subsistemas de señalización con ATP y ATO. *Experiencia específica en mantenimiento* (a) Un mínimo de 5 contratos de mantenimiento de coches de metro pesados en los últimos 10 años en cualquier ubicación geográfica; b) un mínimo de 2 contratos de mantenimiento de coches de metro pesados en los últimos 10 años en América Latina; c) los contratos de mantenimiento deben haber incluido consideraciones de mantenimiento preventivo, programado y correctivo; d) un mínimo de 1 contrato de abastecimiento e implementación en un sistema de metro pesado que actualmente se encuentre en operación y transporte > 20 000 pasajeros por hora por dirección

Nota: ATO = funcionamiento automático de trenes; ATP = protección automática de trenes; DBB= diseño, licitación y construcción; DBFOM = diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento; EOT = equipamiento, operación y transferencia; EPB = tuneladora de presión de tierras; GdA = grado de automatización; TBM = tuneladora.

CUADRO 8A.2. Resultados de procesos de adquisiciones recientes

PROYECTO	CAPITAL PRIVADO (INVERSIÓN INICIAL)	FACTOR DE COMPETENCIA	NÚMERO DE OFERTAS	CONSORCIO SELECCIONADO	DIFERENCIA RESPECTO DE LA REFERENCIA
Línea 4 de São Paulo (2006)	USD 246,1 millones; 18 % del costo total (material rodante)	Pago por disponibilidad más bajo; máximo = BRL 120 millones anuales	2 pagos por disponibilidad de BRL 75 millones (concesión a 30 años)	ViaQuatro: Companhia de Concessões Rodoviárias, Montgomery Participações, RATP Development, Benito Roggio Transporte S.A.	BRL 45 millones anuales (60 %)
Hyderabad (2010)	90 % del costo total	Menor nivel de FBV solicitado; máximo = USD 720 millones	3 ofertas financieras (8 consorcios precalificados); VGF = INR 1458 crore (USD 220 millones)	L&T Metro Rail, una sociedad de propósito específico propiedad exclusiva de Larsen & Toubro	USD 500 millones
Línea 6 de São Paulo (2013)	USD 2500 millones; 50 % de los gastos de capital	Pago por disponibilidad más bajo; máximo = BRL 606,81 millones anuales	1 pago por disponibilidad de BRL 606,79 millones durante 19 años (concesión a 25 años con 6 años a partir de la construcción)	Consórcio Move São Paulo: Odebrecht (Brasil), Queiroz Galvão (Brasil), UTC (Brasil) y Fundo Eco Realty (Brasil)	~BRL 25 000 anuales (0,04 %)
Línea 18 de São Paulo (2014)	USD 900 millones; 50 % de los gastos de capital	Pago por disponibilidad más bajo; máximo = BRL 316,8 millones anuales	1 oferta: BRL 315,9 millones durante 21 años (concesión a 25 años con 4 años a partir de la construcción)	Consórcio ABC Integrado: Primav (Brasil), Encalso (Brasil), Cowan (Brasil) y Benito Roggio (Argentina)	BRL 855 355 anuales (0,27 %)
Línea 2 de Lima (2014)	USD 1,651 millones; 31 % de los gastos de capital	Monto de cofinanciamiento más bajo; máximo = USD 3860 millones y pago de O&M más bajo; máximo = USD 134 millones	1 oferta: USD 3,69 millones de cofinanciamiento y USD 108,9 millones de pago de O&M	Consorcio Nuevo Metro de Lima: Cosapi S.A. (Perú), Salini Impregilo S.p.A. (Italia), Iridium Concesiones de Infraestructura S.A. (España), Vialia Sociedad Gestora de Concesiones de Infraestructura S.L. (España), AnsaldoBreda S.p.A. (Italia) y Ansaldo STS S.p.A. (Italia)	USD 170 millones (4 %) en gastos de capital y USD 25 millones (18 %) en gastos de O&M
Infraestructura del metro de Quito (2015)	n. a (obras públicas)	Precio más bajo (precio unitario)	7 consorcios presentaron una solicitud de precalificación; 4 consorcios precalificaron; 4 consorcios presentaron ofertas	Acciona Infrastructure S.A. (España) – Odebrecht (Brasil)	La oferta fue de USD 1777 millones, unos USD 460 millones por encima del valor de referencia

Nota: n. a = no se aplica; O&M = operación y mantenimiento; VGF = fondos destinados a cerrar brechas de viabilidad.

Notas

Los autores desean agradecer a Fabio Hirschhorn y Ramiro Alberto Ríos, del Banco Mundial, y a Navaid Qureshi, de la Corporación Financiera Internacional (IFC), por sus contribuciones de contenidos, y también a los revisores Andrés Rebollo, de K-Infrastructure, Jorge Rebelo y Martha Lawrence, del Banco Mundial, Juan Antonio Márquez Picón, del metro de Madrid, e Yves Amsler y Dionisio González, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. Si bien algunos componentes específicos de los proyectos ferroviarios urbanos (como un nuevo sistema de emisión de boletos o una nueva estación) pueden ameritar una adquisición exclusiva y específica, este capítulo se centra en el desarrollo de una línea de transporte ferroviario urbano nueva o ampliada como un sistema integral, incluidas las actividades de O&M.
2. Según la *Guía de certificación de APP*, el propósito de una evaluación del VpD es determinar si un proyecto podría ejecutarse con mayor eficiencia en el marco de una APP o bien de algún otro método de adquisición desde la perspectiva de la autoridad contratante y de la sociedad (BAsD y otros, 2016). Las evaluaciones del VpD generalmente suponen una combinación de análisis cualitativos y cuantitativos.
3. Las adquisiciones correspondientes a la ampliación de la línea roja del sistema de metro ligero del MAX al Aeropuerto Internacional de Portland se llevaron a cabo en el marco de un contrato de DBF adjudicado a Bechtel Engineering, que acordó financiar USD 25 millones (o aproximadamente una cuarta parte) de los USD 125 millones que costó el proyecto. Bechtel también recibió los derechos para desarrollar un terreno de casi 5 hectáreas de superficie colindante con una de las estaciones del recorrido (TriMet, 2012).
4. En 2012, la provincia de Columbia Británica celebró un acuerdo de proyecto de precio fijo basado en el desempeño con un socio privado (EGRT Construction) para el diseño, la construcción y el financiamiento de la vía, el túnel y las estaciones; la instalación del sistema de control automático de trenes y otros sistemas, y la realización de las pruebas y la puesta en marcha de la línea Evergreen. El plazo del contrato era de aproximadamente 3 años y medio, y el precio fijo ascendía a USD 889 millones (Partnerships British Columbia, 2013).
5. En este manual no se cubren las demás variantes del método de contratación de EPC, en particular ingeniería, adquisiciones, construcción y mantenimiento (EPCM), que incorpora algunas de las características del método de ejecución de gerente de obras a los contratos de EPC (Loots y Henchie, 2007).
6. El Banco Mundial, otros BMD e instituciones académicas han formulado múltiples definiciones de APP y han brindado diversas recomendaciones dirigidas a los profesionales (Grupo Banco Mundial y otros, 2014).
7. En la mayoría de los contratos de DBF o DBFOM (las formas más comunes de APP de financiamiento privado), el socio privado aporta parte del financiamiento del proyecto, pero no necesariamente la totalidad. El sector público puede proporcionar parte del financiamiento en lo que se conoce como "proyectos cofinanciados". En los proyectos ferroviarios urbanos, no es común que, en el marco de una APP, el socio privado aporte u obtenga la totalidad del financiamiento. El cofinanciamiento se analiza en detalle en los capítulos 9 y 10.
8. El punto de decisión de un modelo de ejecución de proyectos no debe confundirse con el momento de la licitación ni con el momento de la contratación del constructor. Por ejemplo, el organismo de ejecución de un proyecto puede decidir contratar a un contratista de DB al final de las tareas de ingeniería preliminar a fin de aclarar el alcance del proyecto y reducir el grado de incertidumbre.
9. Tales mecanismos de compensación relacionados únicamente con la construcción, que habitualmente son financiados directa o indirectamente (como en el caso de un contrato de DBF) por el sector público y, por lo tanto, se consideran "métodos de financiamiento público".
10. Algunos Gobiernos han formulado procedimientos para transformar las propuestas no solicitadas correspondientes a proyectos de infraestructura privados en proyectos licitados públicamente (CESPAP, 2011). De este modo, el responsable de la iniciativa sabe desde un primer momento que el proyecto se licitará y que se permitirá la participación de otras partes en la licitación. Como responsable de la iniciativa, una empresa puede recibir determinados privilegios,

por lo general una bonificación limitada en el puntaje (además del derecho a recuperar su inversión en los estudios). Cuando el privilegio incluye un "derecho de rechazo", se pierde el incentivo para la competencia y el contexto se asemeja bastante a una negociación directa.

11. En BAsD y otros (2016), capítulo 4, apéndice A), "Different Approaches to Tender Processes" (Distintos enfoques para los procesos de licitación), se resumen los principales factores que deben tenerse en cuenta al diseñar una SdP y los principales tipos de procesos de licitación pública utilizados en el ámbito mundial.
12. En el nuevo marco de adquisiciones del Banco Mundial, que se puso en marcha en 2016, se incorpora un mayor grado de flexibilidad para que los prestatarios u organismos de ejecución de proyectos puedan formular estrategias y planes de adquisiciones que se adapten a sus necesidades específicas (Banco Mundial, 2016).
13. Para obtener más información sobre las políticas de adquisiciones del Banco Mundial, véase Banco Mundial (2016).

Bibliografía

Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco Islámico de Desarrollo (IsDB), Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada (PPIAF) y Grupo Banco Mundial (2016), *Guía de certificación de APP*, Washington, DC: Banco Mundial, https://ppp-certification.com/pppguide/download/.

Asociación Estadounidense de Transporte Público (APTA) (2010), *Transit Procurement: A Guide for Transit Board Members*, Washington, DC: APTA, https://www.apta.com/wp-content/uploads/Resources/resources/reportsandpublications/Documents/APTA%20Brochure_9%2020%2010_final.pdf

Federación Internacional de Ingenieros Consultores (FIDIC) (2017), *Conditions of Contracts for EPC/Turnkey Projects (Silver Book)*, 2.a edición, Ginebra: FIDIC.

Freeman, Dennis, Wenbin Wei y Geoffrey D. Gosling (2012), *Case Study Report: San Francisco International Airport BART Extension*, proyecto de investigación 2503: Collaborative Funding to Facilitate Airport Ground Access, Instituto de Transporte de Mineta, San José (California). https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/pdfs/research/2503-cs7-SFO-BART-Extension.pdf

Gordon, Christopher M. (1994), "Choosing Appropriate Construction Contracting Method", en *Journal of Construction Engineering and Management* 120 (1): pp. 196-210, http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%290733-9364%281994%29120%3A1%28196%29.

Hein, Arnt-Philipp y Anselm Ott (2016), *Huge Value Pool Shifts Ahead: How Rolling Stock Manufacturers Can Lay Track for Profitable Growth*, McKinsey & Company, Nueva York, https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-rolling-stock-manufacturers-can-lay-track-for-profitable-growth.

Hosie, Jonathan (2007), *Turnkey Contracting under FIDIC Silver Book: What Do Owners Want? What Do They Get?*, Londres: Mayer-Brown, https://www.mayerbrown.com/files/Publication/47476005-6bc7-445f-bc0a-501f659a2fee/Presentation/PublicationAttachment/9821ffdb-bbed-4a87-979d-6e3d3c6acb52/art_hosie_turnkey-contracting.pdf.

Instituto de Transporte Urbano (2012), *Issues and Risks for Monorail Projects and Metro Systems*, Delhi: Instituto de Transporte Urbano, https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resources/Report%20on%20Metro%20Vs%20Monorail.pdf.

Kay, Michael A. (2009), *Transportation Megaproject Procurement: Benefits and Challenges for PPPs and Alternative Delivery Strategies, and the Resulting Implications for Crossrail*, tesis de maestría, Cambridge, MA: Instituto Tecnológico de Massachusetts, https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/53328

Levitt, Raymond E., David B. Ashley y Robert D. Logcher (1980), "Allocating Risk and Incentive in Construction", en *Journal of the Construction Division* de la Asociación Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE) 16 (3): pp. 297-305.

Loots, Phil y Nick Henchie (2007), *Worlds Apart: EPC and EPCM Contracts: Risk Issues and Allocation*, Londres: Mayer-Brown, http://fidic.org/sites/default/files/epcm_loots_2007.pdf.

Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina (2010), "Appendix C: Case Study Projects", *Construction Manager-at-Risk Project Delivery for Highway Programs*, Washington, DC: The National Academies Press, https://doi.org/10.17226/14350.

Partnerships British Columbia, *Evergreen Line Rapid Transit Project*, informe del proyecto, Partnerships British Columbia, Victoria, BC, https://www.partnershipsbc.ca/files-4/documents/PBCEvergreen.pdf.

Phang, Sock-Yong (2007), "Urban Rail Transit PPPs: Survey and Risk Assessment of Recent Strategies", en *Transport Policy* 14 (3): pp. 214-31.

Junta de Investigación sobre el Transporte (2009), *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte, http://www1.coe.neu.edu/~atouran/tcrp_rpt_131.pdf.

Distrito de Transporte Metropolitano Tricondado de Oregón (TriMet) (2012), "Airport MAX Tour Fact Sheet". https://trimet.org/pdfs/history/railfactsheetairport.pdf.

Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP) de las Naciones Unidas (2011), *A Guidebook on Public-Private Partnership in Infrastructure*, Bangkok: Naciones Unidas, http://www.unescap.org/resources/guidebook-public-private-partnership-infrastructure.

Banco Mundial (2016), *Procurement Regulations for IPF Borrowers—Procurement in Investment Project Financing: Goods, Works, Non Consulting, and Consulting Services*, Washington, DC: Banco Mundial, http://www.worldbank.org/en/projects-operations/products-and-services/brief/procurement-new-framework.

Grupo Banco Mundial, Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada (PPIAF), Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN) (2014), *Public-Private Partnerships Reference Guide v.2.0*, Washington, DC: Grupo Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/600511468336720455/pdf/903840PPP0Refe0Box385311B000PUBLIC0.pdf.

Instituto del Banco Mundial (2012), *Public-Private Partnerships Reference Guide Version 1.0*, Washington, DC: Instituto del Banco Mundial.

Lecturas adicionales

Asociación Estadounidense de Transporte Público (APTA) (2013), "The Process of Transit Procurement", *APTA Standards Development Program Recommended Practice*, Washington, DC: APTA, https://www.apta.com/wp-content/uploads/Standards_Documents/APTA-PS-PP-RP-007-13.pdf

Fithian, Lee A., D. J. Mason, Kamran Ghavamifar, Douglas D. Gransberg, Keith R. Molenaar y Ali Touran (2009), *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte.

Administración Federal de Transporte (FTA) (2016), *Project and Construction Management Guidelines*, Washington, DC: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/FTA_Project_and_Construction_Mgmt_Guidelines_2016.pdf.

Marriott
BTS

9

ESTRUCTURACIÓN DE ASOCIACIONES PÚBLICO-PRIVADAS

Daniel Pulido y Cledan Mandri-Perrott

Los Gobiernos, tanto de países de ingreso alto como de países de ingreso bajo y medio, recurren cada vez más a las asociaciones público-privadas (APP) para desarrollar proyectos ferroviarios urbanos. En el contexto de este manual, una APP implica un contrato a largo plazo entre una parte pública y una parte privada para el desarrollo (o la mejora significativa) y la gestión de un proyecto ferroviario urbano (incluida la posible gestión del servicio de transporte) en el que el partícipe privado asume un riesgo significativo y la responsabilidad de la gestión durante toda la vigencia del contrato, y la remuneración está vinculada al desempeño del sistema o al número de pasajeros (BAsD y otros, 2016).

En el capítulo 7, se describen los principales riesgos a los que se enfrentan los organismos de ejecución en el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos y se presentan las APP como una forma de gestionar tales riesgos. En el capítulo 8, se definen los diferentes tipos de APP y se presentan sus ventajas y desventajas con relación a otros modelos de ejecución de proyectos.

En este capítulo, se presentan las enseñanzas aprendidas a partir de la experiencia internacional en materia de APP en el ámbito del transporte ferroviario urbano, se analiza cómo y dónde incorporar al sector privado, se describe el objetivo de los diferentes contratos y las relaciones contractuales que componen una estructura de un proyecto de APP ferroviario urbano, y se explican las principales

Fotografía: Skytrain de Bangkok, 2014.
Fuente: Michael O'Gorman, a través de Flickr (CC BY-ND 2.0).

cuestiones que los organismos de ejecución del proyecto deben considerar cuando estructuran las APP: la asignación del riesgo, la definición de un mecanismo de pago, el seguimiento del desempeño, y otras disposiciones contractuales esenciales. Por último, se incluyen algunas recomendaciones para que los organismos de ejecución del proyecto aprovechen al máximo las APP en el desarrollo de ferrocarriles urbanos.

El análisis más detallado de las tareas y los pasos comprendidos en el ciclo de las APP excede los objetivos de este manual. En este capítulo, se explican los aspectos básicos de la estructuración, redacción y gestión del contrato y tareas conexas que son especialmente importantes para un proyecto ferroviario urbano. La *Guía de la Certificación en Asociaciones Público-Privadas* contiene una explicación detallada de las principales tareas y la secuencia de trabajo para todas las fases del ciclo de las APP, incluidos algunos aspectos que se analizan someramente en este capítulo, como la evaluación y preparación de proyectos de APP, y el proceso necesario para estructurar y redactar el contrato de APP y los documentos de licitación (BAsD y otros, 2016).

En el capítulo 10, se introduce el concepto de financiamiento privado y las posibles fuentes de capital que los socios privados pueden movilizar para desarrollar sus proyectos. También se introduce el concepto de "bancabilidad", uno de los factores clave que se tienen en cuenta a la hora de elegir una estructura de APP, y se describen las disposiciones clave que respaldan la bancabilidad y que deben incluirse como parte del contrato de APP.

Experiencia con las asociaciones público-privadas en el transporte ferroviario urbano

Si bien muchas concesiones de operación en el ámbito ferroviario urbano han contribuido con gran éxito a mejorar el desempeño y la sostenibilidad financiera —como lo demuestran los resultados positivos logrados a través de la concesión de ferrocarriles suburbanos y metros de Buenos Aires, Argentina, y Río de Janeiro, Brasil—, la experiencia con las APP de proyectos totalmente nuevos ha sido dispar. Las primeras APP de transporte ferroviario urbano han puesto de manifiesto la dificultad que implica estructurar y sostener las APP en el caso de proyectos ferroviarios urbanos complejos y de gran envergadura. Sin embargo, pese a las dificultades iniciales, el uso de mecanismos de APP para los proyectos ferroviario urbanos está en aumento. De los proyectos actualmente en operación, el monorraíl (adjudicado en 1997) de Kuala Lumpur, Malasia, y la línea 4 (adjudicada en 2006) de São Paulo, Brasil, son ejemplos de APP exitosas.

Primeras experiencias de participación del sector privado en proyectos ferroviarios urbanos: enseñanzas

En la década de 1990, se establecieron seis APP para nuevos proyectos ferroviarios urbanos (principalmente, metro ligero en superficie o metro elevado) en ciudades de Asia oriental (por ejemplo, Bangkok, Kuala Lumpur y Manila). Estas APP tuvieron dificultades, entre las que se incluyeron demoras, costos superiores a los previstos e incumplimientos contractuales. En las primeras APP de transporte ferroviario urbano de Asia oriental se demoraron, en promedio, nueve años desde la formulación de la idea del proyecto hasta el inicio de las operaciones. De estos nueve años, aproximadamente cuatro correspondieron a la construcción del proyecto. Con frecuencia, las demoras surgían cuando el diseño del proyecto se perfeccionaba con posterioridad al contrato inicial, lo que revelaba nueva información sobre las necesidades de inversión y los costos. En Kuala Lumpur, dos concesiones para el desarrollo de metro ligero se declararon en quiebra debido al bajo número de pasajeros y tuvieron que ser rescatadas por el Gobierno. En otros casos, los riesgos inherentes a la construcción que conllevan los proyectos de transporte subterráneo resultaron ser demasiado altos para que los asumiera el sector privado. El proyecto de la línea azul de Bangkok, Tailandia, se puso en marcha inicialmente como una concesión integral, pero posteriormente se adoptó un enfoque de contratación desagrupada, en el cual el sector público asumió la responsabilidad de la construcción y solo sometió a licitación la concesión para equipar y operar la línea (Phang, 2007).

Recientemente, la APP de operación y mantenimiento (O&M) de la línea rápida de metro del aeropuerto de Delhi, en India, se vio demorada cuando se encontraron vicios en la infraestructura contratada por el sector público mediante contrato separado. Aun después del inicio del servicio, la APP enfrentó problemas tales como un número de pasajeros menor que el previsto. Finalmente, tras un conflicto con el socio privado, el Gobierno se vio obligado a rescatar el proyecto.

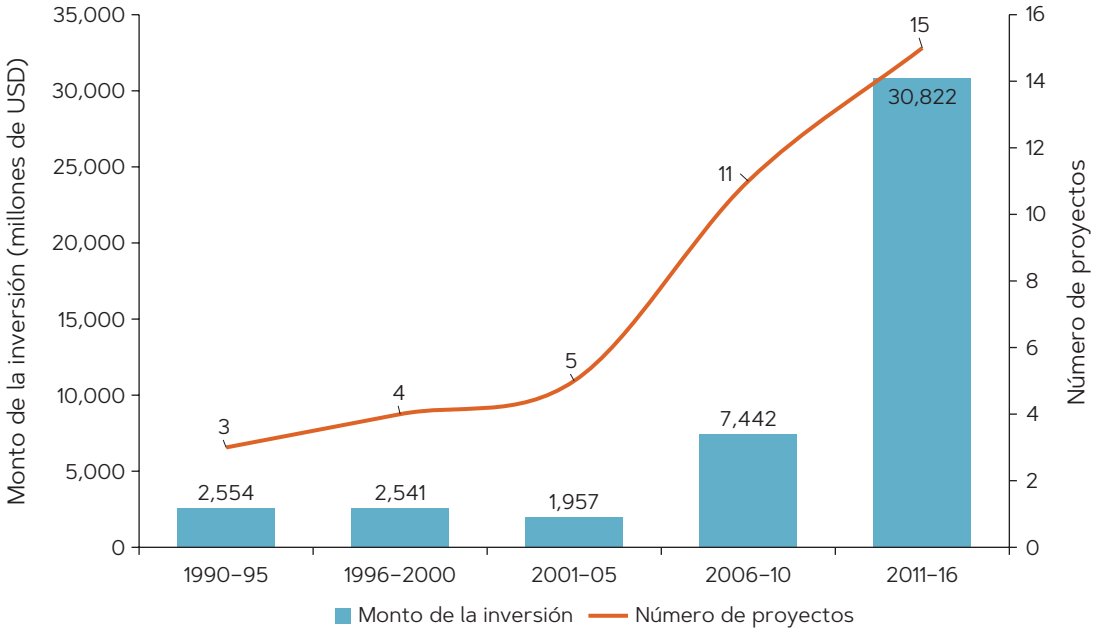
Experiencias recientes de participación del sector privado en proyectos ferroviarios urbanos

Pese a las dificultades experimentadas por la primera ola de APP de transporte ferroviario urbano, ha habido un importante aumento del número de proyectos ferroviarios urbanos con participación del sector privado desde principios de la década de 2000. De acuerdo con la información de la base de datos del Banco Mundial sobre la participación del sector privado en infraestructuras, un total de 16 proyectos ferroviarios con participación privada llegaron al cierre financiero en la primera década de este siglo: más del doble de la cantidad de proyectos en la

década de 1990 (Banco Mundial, 2017). Desde 2011, otros 15 proyectos han llegado al cierre financiero, con un monto total invertido (incluidas las inversiones públicas y privadas) de USD 30 800 millones (véase elgráfico 9.1). La longitud total (en kilómetros) de las redes ferroviarias urbanas desarrolladas en el marco de planes de APP prácticamente se duplicó en los últimos cinco años (2012-16) con respecto al período de cinco años precedente (véase el cuadro 9.1).

Asimismo, en comparación con las APP de comienzos de la década de 1990, la mayoría de los proyectos recientes son más complejos y de mayor envergadura, e incluyen sistemas ferroviarios pesados con grandes tramos subterráneos y diversas funciones integradas en un solo contrato. Hasta hace poco, se habían utilizado APP basadas en la contratación agrupada —contratos que integraban el diseño, el financiamiento, la construcción y O&M— principalmente para los proyectos más simples, por ejemplo, proyectos de metro ligero o tranvías a nivel o elevados. Antes del proyecto de la línea 2 del metro de Lima, Perú (adjudicado en 2015 y actualmente en construcción), muy pocos proyectos con obras de construcción subterránea se habían ejecutado a través de concesiones integrales (a excepción de pequeños tramos de la línea Canadá de Vancouver y el sistema STAR de Kuala

GRÁFICO 9.1. Proyectos ferroviarios urbanos con participación del sector privado en economías de ingreso bajo y medio, 1990-2016



Fuente: Banco Mundial, 2017.

CUADRO 9.1. Proyectos ferroviarios urbanos recientes en países de ingreso bajo y medio con participación del sector privado, 2006-16

PROYECTO	PAÍS	AÑO DE CIERRE FINANCIERO	INVERSIÓN PÚBLICA Y PRIVADA TOTAL (MILLONES DE USD)	LONGITUD DEL SISTEMA FERROVIARIO (KILÓMETROS)
Línea 4 del metro de Beijing	China	2006	577	29
Tren Suburbano Buenavista-Cuautitlán	México	2006	639	27
Línea 4 del metro de São Paulo	Brasil	2008	515	12.8
Mumbai Metro One (Línea 1)	India	2008	363	13
Línea 4 del metro de Shenzhen (fases I y II)	China	2009	858	20.5
Enlace del metro al aeropuerto de Delhi	India	2009	596	22.7
Rapid Metro Rail Gurgaon Ltd.	India	2010	238	6.1
Línea 1 del Tren Eléctrico de Lima	Perú	2011	290	11.7
L&T Hyderabad Metro Rail Private Ltd.	India	2011	3,640	71.16
Metro de Mumbai (fase II)	India	2011	2,515	32
Línea 1 del metro de Hangzhou	China	2012	1,314	53
Línea 14 del metro de Beijing (parte B)	China	2013	2,419	47.3
Línea 4 del metro de Río	Brasil	2013	3,611	16
Metro de Salvador	Brasil	2013	1,657	33.4
Línea 6 (línea naranja) del metro de São Paulo	Brasil	2014	3,786	16
Línea 16 del metro de Beijing	China	2015	2,295	50
Línea 2 del metro de Lima	Perú	2015	6,445	35
Línea 7 del metro de Manila	Filipinas	2016	1,287	23
VLT Baixada Santista	Brazil	2016	594	7.5

Fuente: Banco Mundial, 2017.

Lumpur). Además, antes del gigantesco proyecto de APP del metro de Hyderabad (adjudicado en 2011), de 71 kilómetros, en India, las líneas ferroviarias desarrolladas mediante un enfoque de contrato único agrupado en Malasia, Filipinas y Tailandia oscilaban entre 9 kilómetros y 29 kilómetros (18 kilómetros, en promedio).

Si bien aún no se conocen los resultados finales de las APP más recientes de sistemas ferroviarios urbanos, la participación privada en el desarrollo de estos complejos megaproyectos está en aumento (véase el gráfico 9.1), y los Gobiernos están cada vez más interesados en explorar esta opción. Al ser cada vez más los países de ingreso bajo y medio que adoptan leyes y regulaciones sobre las APP, y en un contexto de espacio fiscal limitado, es probable que el uso del modelo de contratación basado en APP para el transporte ferroviario urbano vaya en aumento.

Fundamentos de la utilización de asociaciones público-privadas

La mayoría de los proyectos ferroviarios urbanos del mundo han sido financiados y construidos y son operados por organismos de ejecución del proyecto del sector público. Las APP se han utilizado en mayor medida y con mejores resultados para elaborar otros tipos de proyectos de transporte caracterizados por menores costos de inversión, y capacidad de generar ingresos en moneda extranjera y de cubrir los costos de inversión y operación con las tarifas cobradas a los usuarios (por ejemplo, aeropuertos y terminales de contenedores). Si bien otras APP del sector de transporte enfrentan riesgos de demanda, se las puede blindar del riesgo de competencia mediante cláusulas contractuales con más facilidad que a un sistema ferroviario urbano, que compite con otros modos de transporte bajo la jurisdicción de diferentes autoridades, incluidos los vehículos particulares.

Si los resultados de las APP de transporte ferroviario urbano han sido muy variados y tales alianzas son más difíciles de preparar y estructurar que en el caso de otros tipos de proyectos de transporte, ¿por qué los organismos de ejecución del proyecto las eligen? En el capítulo 8 se explican algunos de los factores que influyen en la decisión del modo de contratación, entre los que se incluyen la experiencia del organismo de ejecución del proyecto, los factores impulsores del mercado, y el marco jurídico y normativo. Las ciudades de todo el mundo recurren cada vez más a la participación del sector privado, a fin de obtener valor por dinero (VpD) y movilizar financiamiento privado para complementar los limitados recursos públicos.

Valor por Dinero

El VpD se define como el uso óptimo de los recursos públicos para lograr los objetivos de políticas previstos (Oficina Nacional de Auditoría del Reino Unido, 2017). Las APP en el transporte ferroviario urbano obtienen VpD cuando son capaces de generar economía, eficacia y eficiencia en el desarrollo del proyecto. En un análisis de VpD se evalúa si el desarrollo del proyecto es más eficiente bajo la modalidad APP que mediante un enfoque de contratación tradicional (BAsD y otros, 2016). El análisis de VpD puede ser cuantitativo, cualitativo, o ambos.

Análisis de VpD cuantitativo

En un análisis de VpD cuantitativo se comparan, en valor actual, las proyecciones financieras del proyecto en caso de contratación tradicional (lo que se denomina "comparador con el sector público") con aquellas basadas en el modelo o modelos de contratación APP que se estén analizando. Si la diferencia favorece a la APP —es decir, si el valor presente de todos los pagos netos proyectados en la

modalidad de APP es menor que en el valor del comparador con el sector público—, se considera que la APP permite obtener VpD.

Las proyecciones del comparador con el sector público comprenden los pagos estimados del Gobierno que se necesitan para cubrir los gastos de capital (construcción) y O&M, descontados los ingresos secundarios y aquellos aportados por los usuarios. En estas proyecciones, los costos base de construcción y operación generalmente incluyen un ajuste al alza por el hecho de que el sector público retiene la mayoría de los riesgos en el modelo tradicional de contratación. En las proyecciones bajo el modelo de APP, se consideran o incluyen los pagos estimados del Gobierno al socio privado según las condiciones previstas en el contrato de APP[1]. Las proyecciones financieras incluirán el valor estimado de los riesgos retenidos por el sector público bajo dicho contrato. Los costos base de construcción y O&M se ajustarán al alza para tener en cuenta las primas de riesgo que cabe prever que los contratistas cobren por asumir riesgos transferidos, y a la baja para reflejar las eficiencias previstas a causa de la participación privada en el proyecto (ambos ajustes debidamente analizados durante la evaluación de la factibilidad comercial).

Los ingresos tarifarios, cuando sean retenidos por la autoridad contratante, se deducirán de las proyecciones de pago del Gobierno. Cuando se asignen al socio privado, tales ingresos se reflejarán en un pago menor del Gobierno a este. En este último caso, las proyecciones de los ingresos tarifarios deberán ser lo suficientemente altas para que el socio privado pueda esperar obtener ganancias razonables por su participación en el proyecto.

En el análisis se utiliza una tasa de descuento que refleja con precisión el calendario previsto de pagos. En el análisis de VpD se utilizan principalmente el "costo de oportunidad" (el costo del financiamiento público) y la "tasa social de preferencia temporal" (el valor que la sociedad asigna al consumo presente frente al futuro) como posibles tasas de descuento (Ministerio de Hacienda del Reino Unido, 2013).[2]

Consideraciones cualitativas y sensibilidades

Los resultados de un análisis de VpD cuantitativo deben presentarse en forma de rangos que tengan en cuenta un conjunto de sensibilidades, y no como una estimación única puntual. En la decisión también deben considerarse factores cualitativos, como la alineación de incentivos entre el propietario del proyecto y el socio privado, y el nivel de apoyo político y del público en general. Centro Europeo de Asesoramiento sobre las Asociaciones Público-Privadas (EPEC): "Los incentivos que son específicos a los proyectos de APP tienen como objetivo obtener mayores beneficios no financieros que las contrataciones convencionales. Ignorar esta cuestión podría generar un sesgo injustificado contra las APP" (EPEC, 2012a).

Complementación de los recursos públicos limitados

En la práctica, una de las principales razones del creciente interés en las APP ha sido la oportunidad de movilizar cofinanciamiento privado. Sin embargo, la capacidad de las APP para obtener financiamiento comercial a largo plazo únicamente sobre la base de los méritos del proyecto ferroviario urbano sigue siendo limitada debido a su complejidad, su riesgo y su capacidad limitada para recuperar los costos de inversión mediante las tarifas cargadas a los usuarios. La línea 2 del metro de Lima y la línea 6 del metro de São Paulo, en América Latina, lograron movilizar financiamiento privado para cubrir entre el 30 % y el 50 % de los gastos de capital (excluida la adquisición de terrenos), mientras que el resto del financiamiento fue provisto o garantizado por el sector público. Las APP establecidas según el modelo de equipamiento, operación y transferencia (EOT) que se describe en el capítulo 8 han podido movilizar financiamiento privado que equivale a la inversión en el material rodante. En síntesis, las APP en el ámbito ferroviario urbano pueden movilizar una parte del capital necesario para ejecutar el proyecto, pero el cofinanciamiento público todavía puede representar la mayor proporción del financiamiento (véase el capítulo 10).

Capacidad institucional para implementar las asociaciones público-privadas

Los beneficios de una APP deberán evaluarse cuidadosamente teniendo en cuenta los costos de gestión y de transacción de una APP, que no solo incluyen los costos inmediatos de la preparación, adjudicación, ejecución y gestión del contrato, sino también los posibles costos resultantes de la pérdida de control del Gobierno, la necesidad de renegociar contratos (especialmente en el caso de proyectos complejos como los de transporte ferroviario urbano), y la necesidad de lidiar con posibles comportamientos oportunistas (Phang, 2007).

Es posible que los organismos de ejecución del proyecto de países donde los Gobiernos tienen una mayor capacidad para implementar APP que para implementar directamente proyectos ferroviarios urbanos prefieran establecer una APP para subsanar esta deficiencia con el conocimiento y la experiencia de los socios privados. La delegación en el sector privado de los aspectos técnicos relacionados con el diseño y la construcción tiene un precio y requiere una gran capacidad de gestión contractual. La experiencia demuestra que, independientemente del modelo que se elija, es fundamental que los Gobiernos que emprenden estos megaproyectos cuenten con un marco institucional robusto desde la etapa de conceptualización del proyecto hasta su plena implementación. Este equipo del Gobierno debe contar con especialistas de alto nivel con experiencia suficiente en la gestión de contratos de APP y en

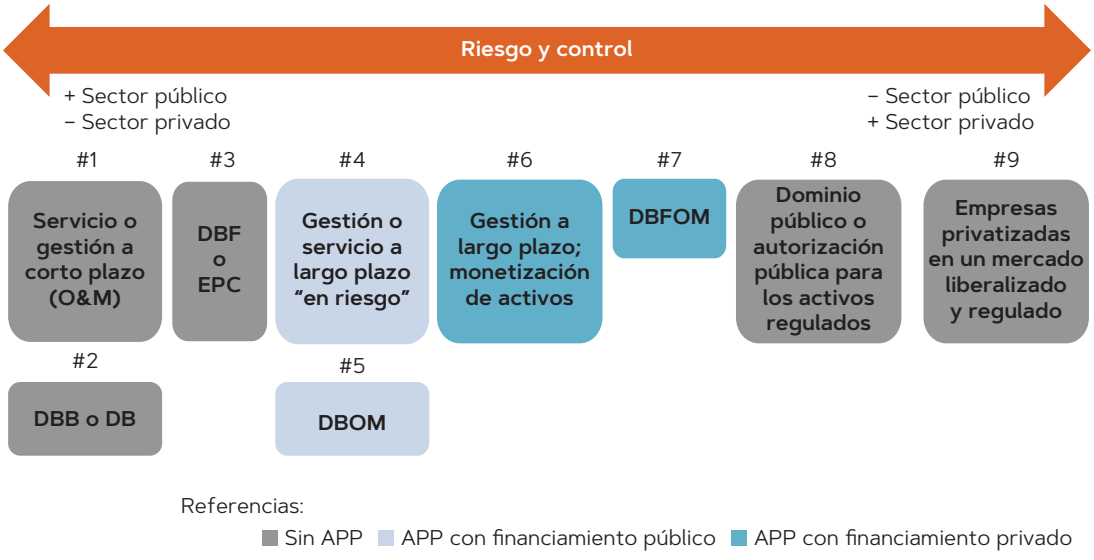
diversos aspectos técnicos, como por ejemplo ingeniería, operación ferroviaria, transporte urbano, gestión de proyectos, financiamiento, comunicación y participación ciudadana, y gestión ambiental y social, entre otros.

El espectro de participación del sector privado

Las formas de participación del sector privado en los proyectos de infraestructura pública puede clasificarse de acuerdo con el grado de riesgo y control que asume el sector privado y los componentes del proyecto específico o el alcance del trabajo asignado a este. De acuerdo con la *Guía de la Certificación en Asociaciones Público-Privadas* (BAsD y otros, 2016), el nivel de control y riesgo asignado al socio privado oscila entre los contratos de servicios a corto plazo, por un lado, hasta la privatización total, por el otro (véase el gráfico 9.2).

Según la definición que se incluye en el capítulo 8, los modelos APP pueden no requerir la movilización de financiamiento privado (diseño, construcción, operación y mantenimiento [DBOM]), o es posible que se exija al socio privado que movilice financiamiento en función de compensaciones basadas en el

GRÁFICO 9.2. **Espectro de participación del sector privado**



Fuente: Adaptado de BAsD y otros, 2016.
Nota: DB = diseño y construcción; DBB = diseño, licitación y construcción; DBF = diseño, construcción y financiamiento; DBFOM = diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento; DBOM = diseño, construcción, operación y mantenimiento; EPC = ingeniería, adquisición y construcción; APP = asociación público-privada; O&M = operación y mantenimiento.

desempeño (las APP con financiamiento privado, incluidos los modelos de diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento [DBFOM] y EOT). La transferencia de la responsabilidad de financiamiento aumenta el nivel de riesgo asignado al sector privado, y sitúa al modelo de desarrollo del proyecto a la derecha del espectro (como el número 7 en elgráfico 9.2). Si bien no es lo habitual, la participación del sector privado también puede implicar enajenaciones (privatizaciones) en las que una parte o la totalidad de la propiedad de una empresa pública de transporte ferroviario urbano se transfiere al sector privado (número 8 y número 9 en el gráfico 9.2), como puede observarse en los casos de los operadores de transporte ferroviario urbano en Singapur y en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China (véase el capítulo 12).

Concesiones de operación y mantenimiento

La participación del sector privado en un sistema o en un solo proyecto puede incluir únicamente la gestión y operación del servicio sobre la base de material rodante existente o previamente adquirido, o bien, la responsabilidad adicional de proveer y mantener dicho material. En tales casos, la infraestructura se adquiere por separado en el marco de esquemas contractuales no basados en APP o es desarrollada previamente por el sector público. Estas concesiones de operación son contratos de gestión a largo plazo en los que el operador asume el riesgo inherente al desempeño (el número 4 en el gráfico 9.2). Es el caso de las concesiones de operación de los sistemas ferroviarios urbanos de Buenos Aires y Río de Janeiro (véase el recuadro 9.1).

Asociaciones público-privadas verticalmente integradas

En general, en los proyectos ferroviarios urbanos ejecutados a través de contratos de "construcción solamente" que excluyen la operación —diseño, licitación y construcción (DBB), gerente de obras en riesgo, diseño y construcción (DB), y diseño, construcción y financiamiento (DBF)—, el servicio de transporte es prestado por una empresa pública. En estos casos, la infraestructura relacionada con el proyecto, excluido el material rodante, se adquiere directamente con el presupuesto público. Cuando la infraestructura se ejecuta a través de un mecanismo de APP (DBOM, DBFOM, o diseño, construcción, financiamiento y mantenimiento [DBFM]), el contrato de APP generalmente incluye la operación (integración vertical o contratación agrupada). Las APP integradas verticalmente (como las de DBFOM) para la ejecución de un nuevo proyecto ferroviario urbano que incluye todos los componentes del proyecto representan el mayor grado de participación del sector privado con respecto a la transferencia de control y riesgos. Sin

RECUADRO 9.1.

Concesiones de operación en Río de Janeiro, Brasil, y Buenos Aires, Argentina

En 1998, la demanda en los sistemas de metro y trenes suburbanos de Río de Janeiro cayó en picado cuando la operación quedó en manos del sector público, debido a la baja calidad y poca fiabilidad del servicio. Tanto los sistemas de metro como los de trenes suburbanos tenían elevados costos de mano de obra y fue preciso otorgarles subsidios de operación de USD 109 millones y USD 180 millones, respectivamente. La introducción de concesiones de operación para ambos sistemas aumentó considerablemente el número de pasajeros transportados y eliminó la necesidad de otorgar subsidios.

De modo similar, en 1992, en Buenos Aires la oferta era baja y la calidad del servicio, deficiente; además, había problemas de seguridad y la demanda era un 50 % más baja que el máximo histórico. El sistema de trenes suburbanos recibía subsidios de USD 250 millones por año, y el metro recibía apoyo del sector público por un valor aproximado de USD 20 millones por año. En el marco de las concesiones privadas, a partir de 1994, la demanda en Buenos Aires aumentó el 75 % con respecto a la registrada en 1990 (véase la imagen B 9.1.1).

IMAGEN B9.1.1. Tren subterráneo (subte) de Buenos Aires, operado por el concesionario privado, Metrovías

Fuente: Zhu, a través de Flickr Commons (CC BY-NC 2.0).

Sources: Adapted from Rebelo 1999, 2004.

RECUADRO 9.2.

La influencia de un operador público en la decisión de establecer una asociación público-privada

Una de las decisiones más importantes que deben tomarse en las primeras etapas de la preparación de un proyecto es quién operará el sistema ferroviario (o la nueva línea), ya que esta decisión claramente influirá en la estrategia y método de contratación. Los organismos de ejecución del proyecto deben formular los objetivos en materia de políticas y los requisitos de operación teniendo en cuenta su experiencia (o su falta de experiencia) en la operación de un sistema ferroviario urbano. Cuando los organismos de ejecución del proyecto analizan la forma de llevar a cabo la ampliación de un sistema existente, el hecho de que haya un operador público en funciones no debe impedir que se considere la posibilidad de establecer una APP. De manera similar, el desarrollo de una extensión del sistema mediante una APP no significa que la nueva infraestructura debe ser operada por una empresa privada. A continuación, se presentan los posibles escenarios.

Operador público existente. Cuando un sistema ferroviario tiene un operador público con experiencia, se puede tomar la decisión de que el operador actual continúe a cargo de la operación del nuevo sistema o la nueva línea. En algunos casos, se utiliza un modelo de APP para construir la nueva línea, pero, una vez finalizadas la obra civil, los servicios de O&M se asignan al operador actual (por ejemplo, la línea del metro que llega al Aeropuerto de Barajas de Madrid, España). Sin embargo, una nueva línea ferroviaria urbana también puede procurarse completamente en el marco de una APP, incluida la operación del servicio en la nueva línea, aun cuando el operador actual esté a cargo de otra parte de la red (por ejemplo, la línea 4 del metro de São Paulo o ciertas extensiones de líneas que brindan servicio a aeropuertos suburbanos).

Ausencia de un operador público previamente existente. En las situaciones en que no existe un operador público, ya sea porque el sistema es nuevo o porque el operador actual es un concesionario privado, pueden darse dos escenarios, según los objetivos del organismo de ejecución del proyecto:

1. *Creación de una empresa pública nueva para que opere el sistema.* En el caso de los proyectos totalmente nuevos, la infraestructura y los equipos pueden adquirirse mediante una APP o desarrollarse utilizando financiamiento público y contratación tradicional. Con respecto a la operación, teniendo en cuenta la falta de experiencia en transporte ferroviario urbano, los organismos de ejecución del proyecto pueden contratar un operador especializado como asesor en las primeras etapas del diseño del proyecto y en los años iniciales de las operaciones a fin de que contribuya a la toma de decisiones operativas "informadas" y capacite al nuevo operador público en todas las esferas necesarias para brindar servicios de buena calidad (véase el capítulo 4). Otra alternativa es incorporar una empresa privada con experiencia en la estructura de propiedad del operador público, quizás en forma de sociedad en participación o empresa de capital mixto con un operador privado que tendrá una minoría de las acciones de capital social (por ejemplo, el Metropolitano de Tenerife, España).

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 9.2.

La influencia de un operador público en la decisión de establecer una asociación público-privada *(Continuación)*

2. *Operación del sistema a cargo de una empresa privada.* En este caso, los organismos de ejecución del proyecto pueden optar por contratar la infraestructura y los equipos mediante contratación tradicional y celebrar un contrato de APP con un socio privado (o concesionario) para los servicios de O&M. Los organismos de ejecución del proyecto recurren cada vez más a las APP integradas verticalmente en las que la infraestructura, los equipos y los servicios de O&M se incluyen en un único contrato. En estos casos, los organismos de ejecución del proyecto deben adquirir conocimientos operacionales suficientes para supervisar de manera adecuada al operador privado. La decisión de establecer una APP integrada verticalmente debe ser precedida por un minucioso análisis de VpD que tenga en cuenta el considerable costo de las primas que generalmente conllevan tales mecanismos.

embargo, es posible que haya una o varias APP de integración vertical que ejecuten diferentes componentes (véase la sección sobre estructuración del alcance del proyecto más adelante en este capítulo).

En un modelo de DBOM o DBFOM, es posible que el socio privado participe en el financiamiento, ejecución y mantenimiento de la infraestructura, pero que quede excluido de la provisión de los trenes y la operación de los servicios. Sin embargo, es posible que el socio privado participe en el financiamiento, la provisión y la operación de los trenes y los sistemas, pero que quede excluido de la ejecución de la obra civil.

Este manual se centra en el desarrollo de nuevos proyectos ferroviarios urbanos o extensiones, incluidas las decisiones sobre la mejor forma de prestar los servicios (véase el recuadro 9.2). Sin embargo, gran parte de la información y las recomendaciones presentadas también es aplicable a los contratos de servicios de O&M o a las APP para componentes individuales del sistema.

El ciclo del proceso de APP

Suponiendo que se ha determinado que el proyecto es la mejor solución y que es viable desde el punto de vista económico, técnico y ambiental con respecto a las recomendaciones de este manual, los organismos de ejecución del

proyecto interesados en analizar las opciones de participación del sector privado pueden centrar su atención en los pasos que se deben seguir para preparar, implementar, licitar y gestionar el proyecto en el marco de un contrato de APP (véase el gráfico 9.3).

Preparación

El primer paso en cualquier ciclo del proceso de APP es la preparación del proyecto. En general, la preparación incluye una evaluación preliminar para determinar si una APP es la mejor opción para ejecutar el proyecto, así como la estructuración preliminar del contrato de APP.

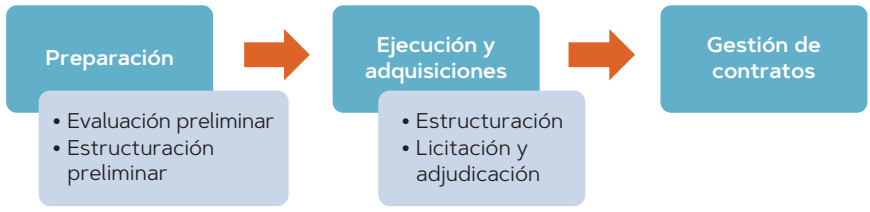
Evaluación preliminar

En el capítulo 8 se analizan algunos de los factores que influyen en la decisión de elegir un modelo de contratación en lugar de otro. En la medida en que la modalidad tradicional de contratación de DBB es el método aplicado por defecto, esta actividad podría incluir la evaluación preliminar del proyecto para determinar la adecuación de modelos de negocios alternativos con participación del sector privado (evaluación preliminar de APP). La evaluación preliminar implica examinar lecciones aprendidas y mejores prácticas, evaluar la factibilidad comercial y sondear el mercado, comprobar la asequibilidad, y determinar los beneficios de la participación privada con respecto a eficiencia y transferencia de riesgo (véase el recuadro 9.3). También debe evaluarse la capacidad institucional para desarrollar el proyecto como una APP, lo que incluye la capacidad de gestión de contratos, la necesidad de contratar asesores externos, y la duración y la naturaleza de la participación privada.

Estructuración preliminar

Es posible que el análisis realizado en la fase de evaluación preliminar proporcione al organismo de ejecución del proyecto suficiente justificación para optar por el modelo de APP, pero que no se haya definido claramente la estructura óptima de APP que más conviene. En este punto, los organismos de ejecución

GRÁFICO 9.3. El ciclo del proceso APP



RECUADRO 9.3.

Evaluación preliminar de una asociación público-privada: línea 1 del metro de Bogotá, Colombia

En el marco de un proyecto de asistencia técnica financiado por el Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada (Estudio de Opciones de Financiamiento para el Metro de Bogotá, P149271), el Banco Mundial brindó apoyo al Gobierno municipal de Bogotá y al Gobierno nacional de Colombia en la evaluación preliminar de las opciones de contratación y financiamiento del proyecto de la línea 1 del metro de Bogotá. Este proyecto de asistencia técnica se puso en marcha antes de finalizar los estudios básicos de ingeniería, con el objetivo de evaluar diferentes modelos de negocio, definir el más adecuado y establecer una hoja de ruta para la posterior estructuración. La asistencia incluyó las siguientes tareas: 1) la evaluación de la experiencia internacional y las enseñanzas aprendidas en materia de estructuración y financiamiento de proyectos ferroviarios urbanos con participación del sector privado; 2) la identificación y el análisis de riesgos (taller de riesgo preliminar; 3) la evaluación cualitativa de VpD; 4) el sondeo del mercado entre participantes de la industria y financiadores; 5) la evaluación de los regímenes legal y regulatorio en el marco de los cuales se podría ejecutar un proyecto de APP, incluido el análisis de la conveniencia de utilizar la ley de concesiones o la ley de APP, y 6) la definición del alcance de trabajo para la estructuración.

La asistencia técnica facilitó y fomentó las conversaciones iniciales acerca del modelo de negocios para el proyecto. Se analizó y evaluó un conjunto de opciones (desde la provisión pública hasta una APP completamente integrada) teniendo en cuenta el contexto jurídico local y la experiencia internacional. Gracias a esta participación activa y temprana, el Gobierno de Bogotá pudo considerar el proyecto desde el punto de vista del modelo de contratación y ejecución, de manera adicional a los aspectos relativos al diseño y la ingeniería.

Si bien el alcance y las especificaciones del proyecto se modificaron posteriormente, la asistencia técnica permitió examinar diferentes modelos de ejecución de proyectos y determinar las características deseables del proceso de contratación, que luego se analizaron como parte de la estructuración ulterior del proyecto contratada por el Banco Nacional de Desarrollo de Colombia.

En Ecuador, el organismo de ejecución del proyecto de la línea 1 del metro de Quito llevó a cabo un estudio similar a fin de determinar el mejor modelo de negocios para la provisión de los servicios de O&M. En el estudio, se analizaron diferentes opciones de participación privada y se compararon los beneficios y costos previstos con un caso de referencia en el que los servicios de O&M del proyecto eran provistos por el sector público.

del proyecto deben definir la estructura que sea capaz de cumplir de la mejor manera los objetivos del proyecto. La estructura de APP se define como la arquitectura contractual que determina el alcance del proyecto (contratos agrupados o contratos desagrupados), la asignación de riesgos entre las partes, y la forma en que se compensará al socio privado (lo que se analiza más adelante en

este capítulo). En la etapa de estructuración preliminar se conceptualiza la estructura de APP y se esbozan los términos y las condiciones contractuales.

La preparación y estructuración de las APP constituyen procesos complejos y costosos, más aún en el caso de proyectos complejos como lo son las líneas ferroviarias urbanas. El costo y la complejidad que entraña estructurar los acuerdos de APP refuerzan la importancia de realizar una estructuración preliminar, que incluye: 1) evaluar diferentes estructuras de APP desde diversas perspectivas (incluida la viabilidad jurídica, comercial y financiera), 2) elegir la opción preferida, y 3) definir los términos y las condiciones preliminares del contrato de APP. La estructuración preliminar también puede ayudar a los organismos de ejecución del proyecto a identificar el proceso de aprobación que deberá seguir el proyecto de APP, que generalmente incluye al Ministerio de Hacienda, el Ministerio de Planificación y, en las jurisdicciones en las que existe, una unidad de APP, que puede depender o no de uno de estos dos ministerios.

Una actividad útil en la estructuración preliminar es describir gráficamente los vínculos entre las diferentes partes de dos formas: 1) los instrumentos contractuales que vinculan a las partes, y 2) los flujos de efectivo (o flujos potenciales de efectivo) que se generarán para cada parte (véanse los gráficos 9.4 y 9.5 en la sección sobre la estructura de un proyecto de APP). Este enfoque puede utilizarse para llegar a un acuerdo sobre los principios generales de la estructura antes de continuar con la estructuración detallada.

GRÁFICO 9.4. Ejemplo de relaciones contractuales en una estructura de asociación público-privada de transporte ferroviario urbano

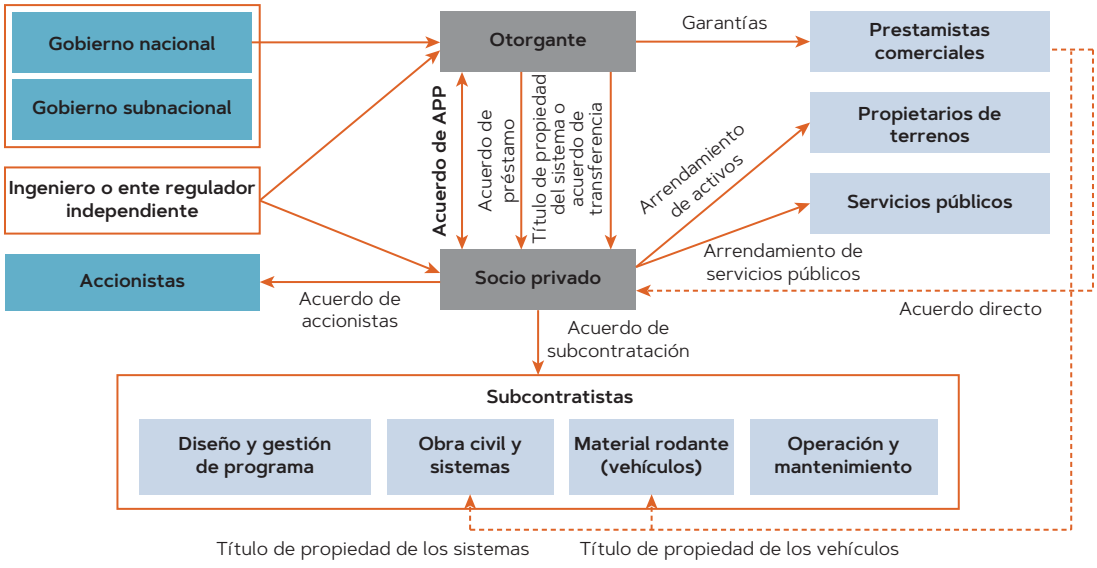
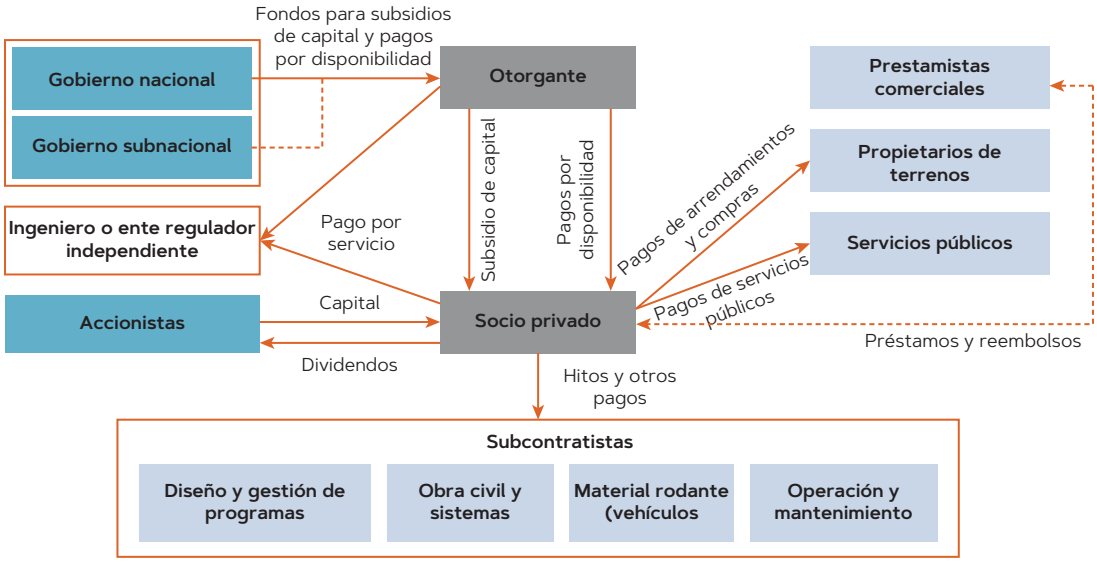


GRÁFICO 9.5. Ejemplo de relaciones de flujos de efectivo en una estructura de asociación público-privada de transporte ferroviario urbano



Implementación y adquisiciones

La estructuración detallada del contrato de APP y su licitación y adjudicación conforman el segundo paso del ciclo del proceso de APP: la implementación y las adquisiciones. La estructura de APP que se apruebe definitivamente se implementará a través de un acuerdo o contrato de APP. Dado que el contrato es el elemento central de la estructura del proyecto, los términos "estructura del proyecto en APP" y "contrato del proyecto de APP" se utilizan generalmente de forma indistinta.

Estructuración

La estructuración requiere de un proceso de debida diligencia que abarque los aspectos jurídicos, técnicos y financieros para poder detallar los términos y condiciones del contrato de APP. Esto podría dar lugar a ajustes o refinamientos de la estructura previamente definida en la estructuración preliminar o incluso a la adopción de una estructura diferente.

En el caso de estructuras contractuales complejas, como las de APP de transporte ferroviario urbano, el enfoque basado en el desarrollo de un documento de condiciones o pliego de condiciones (del inglés *term sheet*)

puede ayudar al otorgante a asegurar que los aspectos esenciales del contrato se establezcan de manera sistemática y completa y se acuerden antes de redactar los contratos detallados. Como paso preparatorio, el otorgante o sus asesores preparan un pliego de condiciones o documento de condiciones para cada contrato o acuerdo, con un breve resumen de las cuestiones esenciales que se tratarán en el documento. La principal ventaja de este enfoque reside en el hecho de que las cuestiones esenciales y los principios básicos del contrato se resuelven en las primeras etapas, y la redacción detallada del contrato de APP se lleva a cabo con más certeza, lo que reduce la necesidad de realizar revisiones posteriores. Este enfoque también es beneficioso para establecer la documentación complementaria, como los anexos operativos y técnicos.

Se recomienda que los organismos de ejecución del proyecto contraten los servicios de un asesor de transacciones calificado que pueda ayudarlos a preparar, estructurar y ejecutar una transacción de APP. Por ejemplo, el apoyo del Grupo Banco Mundial para la estructuración de un proyecto puede agregar mucho valor cuando los Gobiernos emprenden proyectos en un sector nuevo por primera vez o cuando el alcance de las reformas es muy amplio (véase el recuadro 9.4). Los organismos de ejecución del proyecto deben contratar los asesores en las primeras etapas para que respalden la toma de decisiones y brinden asesoramiento técnico durante el proceso de aprobación.

La estructuración de un contrato de APP de transporte ferroviario urbano debe resolver completamente los siguientes interrogantes claves:

- ¿La estructura de APP prevista es jurídicamente viable (es decir, congruente con el marco jurídico)?
- ¿El modelo y la estructura de APP, tal como están diseñados, son la manera más eficaz de contratar el proyecto? Para responder esta pregunta, debe llevarse a cabo un análisis de VpD en el que se compare los resultados financieros previstos de la APP propuesta con los del modelo de ejecución tradicional (ajustados en función del riesgo).
- ¿Cuál es la estructura financieramente viable más eficiente para el proyecto de APP? Este es un ejercicio iterativo que requiere definir un caso base de referencia y sondearlo en el mercado.
- ¿Es asequible el perfil resultante de pagos de costos del proyecto de APP?
- ¿Cuáles son los pasivos contingentes que el contrato de APP generará para el Gobierno?

RECUADRO 9.4.

La Corporación Financiera Internacional como asesora de transacciones para la zona metropolitana de Manila, Filipinas

El Gobierno de Filipinas ha decidido movilizar recursos y conocimientos especializados adicionales del sector privado para superar la escasez de recursos fiscales y acelerar el desarrollo del transporte público de alta capacidad. Asimismo, busca separar la propiedad y las funciones normativas de las operaciones en el sector del transporte, a fin de abordar las deficiencias institucionales. Para lograr estos objetivos en materia de políticas, el Gobierno creó un ambicioso programa de APP para atraer la participación del sector privado en el financiamiento, el desarrollo, la operación y la gestión del sistema ferroviario masivo/ligero (MRT/LRT) de la zona metropolitana de Manila y, al mismo tiempo, mantener la propiedad y regulación del sector público. Se prevé que con el programa de APP para el sistema de LRT, bajo la dirección del Departamento de Transporte y Comunicaciones, se obtendrán inversiones muy necesarias para integrar la red de LRT, ampliar su alcance e incrementar las capacidades y eficiencias del servicio a

IMAGEN B9.4.1. Tren LRT en la estación EDSA, Manila, Filipinas, 2017

Fuente: Fabio Achilli, a través de Flickr Commons (CC BY 2.0).

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 9.4.

La Corporación Financiera Internacional como asesora de transacciones para la zona metropolitana de Manila, Filipinas *(Continuación)*

través de la mejora del desempeño y la rendición de cuentas (véase la imagen B9.4.1).

El Departamento de Transporte y Comunicaciones, con su organismo adscrito, la Autoridad de Transporte de Metro Ligero, contrató los servicios del Departamento de Asesoría sobre APP de la Corporación Financiera Internacional (IFC), en asociación con el Banco de Desarrollo de Filipinas, para estructurar la APP y brindar asistencia en la realización de una licitación pública internacional para el Proyecto de Extensión de Cavite. El mandato de IFC incluía formular la estructura de la transacción APP, preparar el contrato de concesión y ayudar a seleccionar un concesionario privado a través de un proceso competitivo y transparente para que opere el sistema existente y desarrolle y opere la Extensión de Cavite. El Gobierno de Filipinas recibió recomendaciones de IFC sobre los mecanismos de financiamiento, la asignación de riesgos y el diseño del proceso de licitación.

- ¿Se considerará el activo del proyecto como inversión pública que afecte el nivel de la deuda pública en las cuentas nacionales? Este análisis se exige en algunos países que cuentan con regulaciones específicas en términos de normas contables y en ocasiones se denomina "análisis del impacto en la deuda".

Como parte de la estructuración, los organismos de ejecución del proyecto deberán elaborar una serie de evaluaciones o alcanzar ciertos hitos antes de garantizarse la aprobación del proyecto. En algunos países se exige una aprobación central definitiva (generalmente del Ministerio de Hacienda o del Tesoro) del caso base de negocio para definir el tope de pagos (o el mínimo, en el caso de los proyectos APP de pagos por usuario) y la aprobación de la redacción final de los documentos de licitación (incluidos el contrato, la solicitud de calificaciones y la solicitud de propuestas). Esta aprobación es necesaria para que se pueda poner en marcha la licitación del proyecto.

Licitación y adjudicación

Una vez que se define la estructura óptima de la transacción, los organismos de ejecución del proyecto deben promover el proyecto entre las posibles partes interesadas, preparar la versión preliminar de los documentos del

proyecto (documentos de licitación y contrato de APP o de concesión), identificar a los posibles licitantes, llevar a cabo el proceso de licitación (que generalmente incluye varias iteraciones de los documentos del proyecto antes de que se les dé forma definitiva), evaluar las ofertas, llevar adelante las negociaciones con el licitante seleccionado, adjudicar la concesión y llegar al cierre comercial y financiero. En el capítulo 8, se brinda orientación sobre el diseño y la implementación del proceso de licitación.

Gestión de contratos

La gestión de contratos generalmente es el paso del proceso de APP que recibe menos atención; sin embargo, es fundamental para el éxito del proyecto. La asignación de riesgos óptima diseñada como parte de la estructuración quedará reducida a buenas intenciones si el otorgante público de la APP no es capaz de monitorizar y exigir el cumplimiento de las obligaciones del partícipe privado, o si no cumple sus propios compromisos contractuales, incluidas la aprobación oportuna de los diseños finales o la adquisición y liberación de terreno necesarias para la ejecución del proyecto. Se recomienda que los organismos de ejecución del proyecto incluyan actividades de fortalecimiento institucional para aumentar la capacidad de los equipos responsables de gestionar el contrato de APP y complementar sus conocimientos especializados con asesores externos, según corresponda. También se recomienda encarecidamente la contratación de un consultor de supervisión de la gestión de proyectos, que puede brindar un mejor asesoramiento estratégico y técnico que un consultor de supervisión de contratos (véase el capítulo 4).

La estructura del proyecto de asociación público-privada

La estructura del proyecto se refiere a la arquitectura de las relaciones contractuales y los flujos de efectivo que rigen el desarrollo y el ciclo de vida del proyecto (BAsD y otros, 2016). La estructura de un proyecto de APP se basa principalmente en el acuerdo o contrato de APP (también denominado "contrato aguas arriba" o "contrato primario") entre la autoridad pública otorgante y el socio privado o empresa del proyecto. En el contrato de APP se define el alcance del proyecto y se establecen los derechos y las obligaciones de las partes del sector público y del sector privado. La estructura del proyecto también se rige por los contratos celebrados entre el socio privado y terceros partícipes a los que se "traspasan" las obligaciones, recompensas y sanciones establecidas en el contrato de APP ("subcontratos"). En primer

lugar, las empresas que componen el consorcio adjudicatario formalizan la creación de la empresa del proyecto, que es la contraparte del contrato de APP, y celebran el contrato de accionistas. A continuación, la empresa del proyecto celebra contratos con terceras partes que brindarán sus servicios en relación con el cumplimiento del objetivo de la APP, entre los que se incluyen prestamistas, aseguradoras, garantes, contratistas y proveedores de equipos. Por último, es posible que los financiadores exijan otros contratos, como por ejemplo un acuerdo directo entre ellos y la autoridad pública otorgante. La estructura de los subcontratos se deriva del contrato de APP. El contrato primario o contrato aguas arriba, y los subcontratos en conjunto, se denominan "documentos del proyecto".

En el contrato de APP se incluyen los términos y condiciones que sirven de base para dos estructuras contractuales interrelacionadas: la estructura financiera o de compensaciones al socio privado y la estructura de asignación de riesgos. La estructura financiera representa los medios de compensación al socio privado por realizar la inversión y la operación del servicio. La estructura de asignación de riesgos es la asignación de las consecuencias económicas en caso de materialización del riesgo. Estas dos estructuras están intrínsecamente vinculadas con el alcance del contrato, como, por ejemplo, si se incluyen la operación además de la infraestructura. Si la operación no se incluye en el alcance, no se debería transferir el riesgo de demanda, y la compensación no debería depender del número de pasajeros. En algunas estructuras de asignación de riesgos, es posible que el riesgo relacionado con la demanda no se transfiera aunque la operación del sistema esté incluida en el alcance de la APP (véase el análisis sobre los pagos por disponibilidad).

En el gráfico 9.4, se muestra un ejemplo de una estructura de proyecto de APP típica, compuesta por una concesión para el desarrollo, la operación y el mantenimiento de un sistema ferroviario urbano. En este gráfico se indican los vínculos contractuales, y en elgráfico 9.5, se muestran los flujos de efectivo asociados. En este ejemplo, a través de un contrato de APP, el otorgante concede el derecho a construir, operar y mantener el proyecto a un promotor privado (habitualmente, un consorcio de empresas), que crea una empresa de proyecto con el propósito de cumplir el objetivo del proyecto (empresa que generalmente se denomina "sociedad de propósito específico"). El contrato de APP establece los derechos y las obligaciones de las partes y la asignación de riesgos. La empresa de proyecto o sociedad de propósito específico, a su vez, celebra contratos individuales con el diseñador, el constructor y los proveedores de equipos, que pueden o no formar parte del consorcio y que prestan sus servicios a la empresa de

proyecto. Las obligaciones establecidas en estos subcontratos deben replicar las obligaciones del contrato de APP. Los recursos y las garantías disponibles deben permitir que la empresa de proyecto "traspase" los riesgos asumidos frente al otorgante. Además, la empresa de proyecto celebra contratos para financiar los gastos de capital necesarios, incluyendo, si procede, el financiamiento privado.

Estructuración del alcance del proyecto

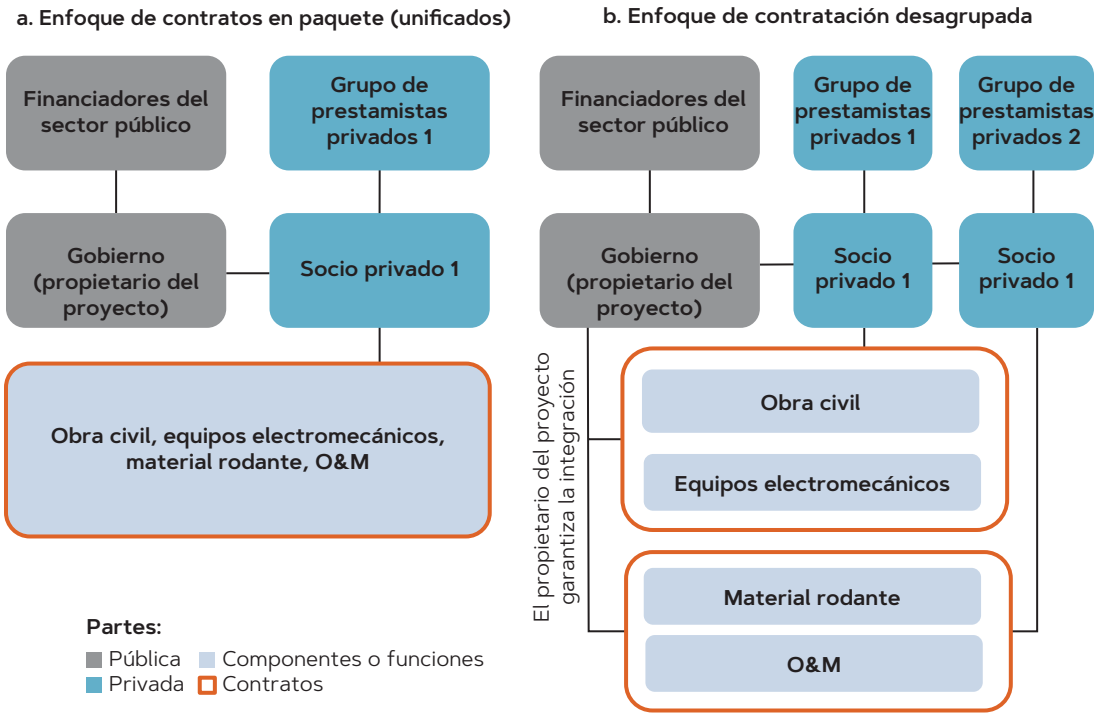
La estructuración del alcance del proyecto de APP incluye decisiones sobre el número de contratos que se adjudicarán (considerando las ventajas relacionadas en términos de riesgos, flexibilidad y control) y el plazo del contrato.

Uno o más contratos: contratación agrupada o desagrupada

Una de las principales decisiones que deben tomar los encargados de la formulación de políticas que estructuran el alcance de un proyecto de APP es si dicho proyecto debe contratarse mediante un enfoque de contratación agrupada o uno de contratación desagrupada. En un enfoque de contratación agrupada, el proyecto se ejecuta sobre la base de un único contrato de APP con un solo socio privado. En esta situación, el socio privado generalmente asume la responsabilidad de la construcción de la infraestructura civil, las instalaciones mecánicas y eléctricas, las adquisiciones de material rodante y la operación del sistema.[3]

Por otra parte, en un enfoque de contratación desagrupada, el proyecto puede dividirse en diversos contratos (a veces, en más de un contrato de APP), cada uno de los cuales abordará un componente o una combinación de componentes del proyecto: 1) construcción de obra civil, 2) equipos electromecánicos, 3) adquisición de material rodante, y 4) O&M del sistema. Por lo tanto, un enfoque de contratación desagrupada puede abarcar varios contratistas o socios privados, cada uno con sus propios prestamistas y mecanismos de compensación. Por ejemplo, un proyecto puede desarrollarse con dos contratos: una concesión para la infraestructura (obra civil y equipos) y otra para los servicios de O&M con el compromiso de invertir en material rodante. En este caso, un conjunto de prestamistas financiaría las obras de infraestructura y dependería de los pagos de infraestructura para reembolsar sus deudas, y otro conjunto separado de prestamistas financiaría las adquisiciones de material rodante y dependería de otra fuente de reembolso durante los servicios de O&M

GRÁFICO 9.6. Enfoque de contratación agrupada (unificada) y enfoque de contratación desagrupada para la participación privada



Nota: O&M = operación y mantenimiento.

(véase el gráfico 9.6). En los enfoques de contratación desagrupada, se pueden combinar contratos de APP para algunos componentes del proyecto con otros modelos de desarrollo de proyectos para otros componentes distintos (véase el recuadro 9.5).

Los enfoques de contratación agrupada y de contratación desagrupada presentan claras ventajas y desventajas. El organismo de ejecución del proyecto del sector público debe considerar en qué medida cada enfoque le permitirá generar (de manera eficaz en función de los costos) el mayor interés posible del mercado cuando someta a licitación el proyecto, a fin de transferir más riesgos, mantener flexibilidad para reemplazar contratistas y llevar a cabo futuras ampliaciones. En el cuadro 9.2, se presentan las principales consideraciones que inciden en la decisión de adoptar un enfoque en lugar del otro.

RECUADRO 9.5.

Ejemplos de contratos desagrupados de asociación público-privada

- Contrato de DBFOM solo para desarrollar, financiar y gestionar las estaciones de una línea ferroviaria urbana, por ejemplo, la línea 9 del metro de Barcelona.
- Contrato de DBFOM solo para diseñar, proveer, instalar, operar y mantener el sistema de emisión de boletos de un sistema ferroviario urbano, o incluso de un sistema de transporte público completo, como es el caso de Ática, en Grecia, y Barcelona, en España. APP para adquirir, financiar y mantener material rodante nuevo, por ejemplo, algunas adquisiciones realizadas por el metro de Madrid en virtud de arrendamientos operativos.
- Asociación público-privada (PPP) para la adquisición, financiación y mantenimiento de nuevo material rodante, como algunas adquisiciones del Metro de Madrid en régimen de arrendamiento operativo.
- Concesión para desarrollar centros comerciales relacionados con las estaciones en el metro de São Paulo (operado por el sector público).
- Contrato de EOT para adquirir, financiar y mantener el material rodante, incluida la operación del servicio de transporte, por ejemplo, la APP de la línea 4 de São Paulo, en Brasil, y las APP de Beijing y Hangzhou, en China.

CUADRO 9.2. Consideraciones principales para decidir sobre el enfoque de contratación agrupada o el enfoque de contratación desagrupada desde la perspectiva del sector público

CONSIDERACIÓN O RIESGO	ENFOQUE DE CONTRATACIÓN AGRUPADA	ENFOQUE DE CONTRATACIÓN DESAGRUPADA
Transferencia del riesgo de interfaz	●	○
Transferencia del riesgo de cortafuegos	●	○
Capacidad de transferir el riesgo de demanda	◔	◑
Solución de controversias	●	○
Flexibilidad	○	●
Expansión futura	○	●
Respuesta del mercado (y, por ende, tensión competitiva)	◑	◔

Nota: ● = más ventajoso; ○ = menos ventajoso.

Riesgo de interfaz

La principal diferencia entre los enfoques de contratación agrupada y de contratación desagrupada es la forma en que se abordan las interfaces entre la infraestructura civil, las instalaciones mecánicas y eléctricas, el material rodante y las obligaciones de O&M.

En un solo contrato "unificado", el propietario del proyecto tiene una sola contraparte contractual que es plenamente responsable de garantizar las interfaces de los componentes y de gestionar todos los riesgos vinculados con las diversas actividades del proyecto. En el enfoque de contratación desagrupada, el propietario del proyecto o el organismo de ejecución del proyecto (en el caso de una APP, el otorgante) sigue siendo responsable de integrar los componentes individuales del proyecto y, por ende, asume el riesgo de interfaz. El propietario es responsable de diseñar, ejecutar y gestionar múltiples contratos y de garantizar que el proyecto opere tal como fue concebido originalmente. Esta responsabilidad y el riesgo conexo pueden percibirse como una gran desventaja del enfoque de contratación desagrupada.

Sin embargo, en una APP basada en la contratación agrupada, el hecho de que el socio privado haya asumido la responsabilidad de integrar los componentes individuales del sistema no significa que el riesgo se ha mitigado completamente. Si el socio privado no gestiona la integración de manera adecuada, en última instancia, el otorgante sufrirá las consecuencias, luego de emplear los mecanismos de reparación disponibles en virtud del contrato de APP. Si bien el otorgante tendrá la capacidad de incentivar al socio privado para integrar de forma adecuada los componentes del proyecto, no estará facultado para intervenir y corregir los errores, salvo en caso de que ocurra un acontecimiento que dé lugar a la rescisión o a una intervención (secuestro de la concesión) en virtud del contrato. El otorgante deberá esperar a que el sistema ferroviario urbano esté en condiciones de operar y confiar en que el socio privado será capaz de resolver los problemas que pudieran surgir. Por lo tanto, el otorgante pierde la capacidad de influir en la integración en la práctica, y tiene capacidad limitada para influir en la conducta del socio privado más allá de los mecanismos de reparación específicos que se contemplan en el contrato de APP.

Por el contrario, en un enfoque de contratación desagrupada, si bien el otorgante deberá asumir el riesgo de interfaz, la asunción de esta responsabilidad le permitirá identificar los problemas a medida que surjan y encontrar una solución oportuna. En un enfoque de contratación desagrupada, el otorgante puede gestionar el riesgo de interfaz adoptando las siguientes medidas:

- Designación de miembros del personal interno o consultores externos adecuados para que realicen un seguimiento de las cuestiones de interfaz e integración durante el desarrollo del proyecto para que los problemas puedan identificarse y abordarse de forma temprana;

- Inclusión de disposiciones en cada uno de los contratos pertinentes del proyecto para garantizar que exista un enlace adecuado entre los proveedores correspondientes, quizás con un acuerdo de coordinación (interfaz) específico celebrado entre todas las partes pertinentes. En este acuerdo, se establecerían los procedimientos que deberían cumplir cada una de las contrapartes del otorgante para garantizar que las cuestiones relacionadas con las interfaces se tengan en cuenta en los procesos de diseño, contratación y construcción. Por ejemplo, se podría permitir un procedimiento de examen del diseño en cada contrato para que las contrapartes del otorgante puedan identificar los problemas en los diseños propuestos por otras partes que afectarán sus propias obligaciones.

Riesgo de cortafuegos

El riesgo de cortafuegos se refiere a las situaciones en las que el incumplimiento en uno de los componentes del proyecto afecta el desempeño de todo el sistema, y el organismo de ejecución del proyecto es incapaz de aplicar mecanismos de reparación efectivos que permitan resolver estos problemas u obtener una compensación adecuada por su materialización. En un enfoque de contratación desagrupada, cada contrato que celebre el otorgante generará un flujo de pagos separado. Si el sistema en su conjunto no funciona debido a la falla de uno de los componentes del proyecto (por ejemplo, un problema en las vías), es probable que se reduzcan los pagos adeudados al contratista responsable de la infraestructura, pero los pagos adeudados al operador y al proveedor del material rodante no se deberían ver afectados. En esta situación, el otorgante efectuará el pago total a la parte cumplidora, incluso a pesar de que no se están prestando los servicios de transporte. A los proveedores cumplidores (en este ejemplo, el operador y el proveedor del material rodante) no les importará si la parte incumplidora (en este ejemplo, el contratista responsable de la infraestructura) resuelve el problema o no. Esto no es así en el caso de una APP basada en la contratación agrupada, en la que se incentiva al conjunto del consorcio a resolver el problema. Sin embargo, en el enfoque de contratación agrupada, el sector privado habrá tenido en cuenta el impacto de las deducciones debidas a las fallas en las partes individuales del sistema. En otras palabras, en un enfoque de contratación agrupada, si bien el riesgo de cortafuegos no es evidente, probablemente se verá reflejado en el precio ofrecido por el sector privado.

Riesgo de demanda o de ingresos tarifarios

El riesgo de demanda o de ingresos tarifarios refiere al riesgo de que el número de usuarios que pagan el boleto sea menor que el previsto y, por ende, se generen déficits de ingresos. En un enfoque de contratación agrupada, el otorgante

tiene libertad para gestionar el riesgo de ingresos tarifarios. Puede transferir todo este riesgo al sector privado, o bien retenerlo y efectuar pagos al sector privado basados en la disponibilidad (véase la sección sobre la estructuración de los pagos). En un enfoque de contratación desagrupada, el riesgo relacionado con la venta de boletos generalmente es retenido por el otorgante o transferido parcialmente al socio privado del contrato de operación. Si bien el otorgante podría procurar transferir el riesgo de demanda a los proveedores de infraestructura del sector privado, esto estaría reñido con un principio central de las APP —el riesgo debe asignarse a la parte que esté en mejores condiciones para gestionarlo— y, por ende, es poco probable que permita obtener VpD.

Flexibilidad

Una importante ventaja del enfoque de contratación desagrupada es que permite que el sector público ajuste los componentes del proyecto en diversos momentos a medida que las condiciones cambian, sin necesidad de activar un mecanismo especial de modificación del contrato y el riesgo conexo de reclamaciones de costos del socio privado interviniente.

Por ejemplo, es posible que sea necesario modificar los niveles de servicio previstos originalmente al inicio de un proyecto para ajustarlos a las nuevas condiciones económicas y sociales. Estos niveles de servicio diferentes pueden introducirse toda vez que se celebre un nuevo contrato de operación (por ejemplo, a intervalos de cinco años), en lugar de negociarlos con el socio del sector privado en cuestión. En el Reino Unido, los cambios con respecto al horario en que los bares están abiertos y a las fechas en que se permite que las tiendas abran los domingos han tenido un impacto significativo en los horarios en que el público necesita y espera que los servicios de transporte público operen. Los cambios resultantes en los servicios que deben prestar los operadores de transporte ferroviario ligero han sido objeto de costosas negociaciones con los socios privados intervinientes.

De modo similar, los intereses del sector público y el sector privado pueden entrar en conflicto cuando los aumentos de los niveles de pasajeros alcanzan niveles de saturación. En tales circunstancias, se recomienda que el sector público incremente la capacidad del sistema para aliviar la saturación, pero el sector privado tal vez prefiera aumentar los precios para reducir el número de pasajeros y evitar la mayor congestión, a fin de maximizar los ingresos obtenidos con sus activos existentes, en lugar de realizar nuevas inversiones. Incluso si el sector privado no asume el riesgo de demanda, es posible que el sector público tenga facultades limitadas para exigir más capacidad, especialmente dado que para brindar más capacidad se necesitaría un gasto de capital adicional por parte del sector privado, o si el sector privado o sus prestamistas

consideran que el aumento de la capacidad incrementaría el servicio de la deuda y otros riesgos del proyecto.

Futuras ampliaciones del sistema

Se ha comprobado que el enfoque de contratación agrupada es inflexible y sumamente costoso en los casos en que se han necesitado ampliaciones del sistema. Esto fue lo que sucedió en Manchester, Reino Unido, donde el Gobierno adoptó un enfoque de contratación agrupada para desarrollar el sistema Metrolink, que se ha ampliado en dos ocasiones (véanse lasimágenes 9.1 y 9.2). Cada vez que se amplió el sistema Metrolink, el otorgante se vio obligado a ejercer los derechos de rescisión voluntaria establecidos en el contrato de concesión y "comprar" la sociedad concesionaria existente abonando una gran suma de dinero equivalente a las ganancias futuras previstas que el concesionario podría haber obtenido durante el plazo restante del contrato. Estas decisiones de rescisión de los contratos pueden ser aún más controvertidas y difíciles de tomar en los países de ingreso bajo y medio, donde hay falta de precedentes claros y los fondos disponibles pueden ser escasos.

Asimismo, las múltiples rescisiones de contratos pueden enviar señales equivocadas al sector privado. Si el socio privado considera que es posible que la APP se rescinda para permitir una ampliación, quizás tenga menos interés en

IMAGEN 9.1. Tranvía de la Fase 1 del Metrolink de Manchester, 2011, Reino Unido

Fuente: Magnus D, a través de Flickr Commons (CC BY 2.0).

IMAGEN 9.2. Tranvía de la Fase 2 del Metrolink de Manchester, 2015, Reino Unido

Fuente: A.P. Photography, a través de Flickr Commons (CC BY-NC-ND 2.0)

mantener el sistema en buenas condiciones y se preocupe menos por las fallas del sistema a largo plazo. En contraste con el enfoque de contratación agrupada adoptado para el Metrolink de Manchester, la provisión de contratos separados para el sistema de tren ligero Docklands Light Railway de Londres, Reino Unido, ha facilitado la ejecución de importantes extensiones realizadas en tiempo y sin exceder el presupuesto. Sin embargo, contratos de menor tamaño y a corto plazo para ampliaciones pueden también reducir el incentivo para que los socios privados se centren en los servicios de O&M a largo plazo.

Una variante de esta situación supone la reversión de tramos de sistemas existentes desarrollados bajo APP. La APP de la línea 2 del metro de Lima incluye el desarrollo de una sección de la futura línea 4, que conectará la línea 2 con el aeropuerto internacional de Lima (Avenida Faucett y Avenida Gambeta Branch). A fin de brindar más flexibilidad, el contrato de APP de la línea 2 permite que el Gobierno exija que el socio privado revierta o entregue el tramo de la línea 4 cuando sea necesario para el desarrollo de la línea 4 completa en virtud de un nuevo contrato de APP con otra parte. En el momento en que se solicita la reversión, el socio privado ya debe haber recibido la remuneración por su inversión de capital en el desarrollo de este tramo, pero dejará de recibir los ingresos tarifarios y pagos por O&M relacionados con su operación.

Presión competitiva

Como se analizó en el capítulo 8, para incluir múltiples servicios (diseño, construcción, suministro e instalación de equipos, y O&M) en un solo contrato, es necesario que los licitantes interesados establezcan consorcios de varias empresas especializadas. Las negociaciones necesarias para establecer estos consorcios son difíciles, los riesgos asumidos por los socios privados son más altos, y el número de empresas elegibles es limitado. Esta situación puede reducir el número de posibles licitantes y limitar la presión para lograr precios competitivos en el enfoque de contratación agrupada con respecto al enfoque de contratación desagrupada. Si el organismo de ejecución del proyecto decide contratar por separado los componentes del proyecto, quizás pueda maximizar la competencia de precios para cada uno de estos componentes.

Plazo del contrato

El plazo del contrato es una decisión fundamental a la hora de diseñar la estructura del proyecto de APP. Algunos factores favorecen un plazo más reducido (por ejemplo, la voluntad de evitar o reducir en tiempo la falta de flexibilidad que una APP impone y los mayores costos financieros acumulados), mientras que otros favorecen un plazo más prolongado (BAsD y otros, 2016).[4]

En principio, un plazo más largo del contrato de APP debería permitir la dilución de los pagos del Gobierno a lo largo de un período prolongado. Sin embargo, extender los pagos quizás no sea posible cuando el socio privado no pueda obtener financiamiento a largo plazo en consonancia con un período de APP más prolongado, o sus ventajas puedan verse contrarrestadas por el costo de interés más alto que el socio privado tendría que pagar si obtuviera financiamiento a largo plazo. De cualquier modo, el plazo del contrato debería ser lo suficientemente largo para transferir los riesgos del ciclo de vida y maximizar la movilización de fondos (lo que, a su vez, reduce el costo de capital del proyecto).

Estructuración de riesgos

En el capítulo 7, se describe la gestión de riesgos en los proyectos ferroviarios urbanos, y se incluyen algunos aspectos básicos de la evaluación y la asignación de riesgos en contratos de APP. Una gran parte de la propuesta de valor de los contratos de APP se basa en la transferencia de ciertos riesgos al sector privado. Es necesario alcanzar un equilibrio óptimo entre riesgos y recompensas, ya que el exceso de riesgo no necesariamente trae consigo VpD. El contrato debe transferir solo aquellos riesgos para los que la capacidad del socio privado reducirá los costos para los usuarios y el sector público durante el ciclo de vida del proyecto. En tales casos, la prima de riesgo (ya sea en forma de contingencias en el presupuesto o de un aumento de los costos de intereses o del rendimiento del capital exigido) será menor que el valor estimado de tales riesgos si los retuviera el otorgante. Cuando el sector privado claramente no está en mejores condiciones de gestionar un riesgo determinado de manera eficiente o no está dispuesto a asumir ese riesgo con una prima de precio razonable, el riesgo debería ser retenido por el organismo de ejecución del proyecto del sector público, o bien compartirse (estableciendo un límite máximo para el riesgo que se transfiere al sector privado).

La estructuración de riesgos parte del ejercicio de asignación de riesgos que se explica en el capítulo 7, implantando la asignación en términos y condiciones contractuales que las partes pueden hacer cumplir. La estructuración de riesgos conlleva las siguientes tareas:

- definir los eventos de riesgo;
- desarrollar los parámetros comparativos y los valores de referencia necesarios para definir los umbrales de riesgo de forma objetiva (por ejemplo, el valor de referencia de las condiciones geotécnicas o un mapa de ubicaciones de los servicios públicos, con las correspondientes desviaciones y protecciones necesarias);

- establecer los límites (umbrales) de asunción de riesgos de cada parte;
- definir los eventos de fuerza mayor, es decir, aquellas circunstancias en las que se eximiría a las partes de asumir responsabilidad por el evento de riesgo;
- crear mecanismos de compartición de riesgos;
- establecer la manera en que se compensará financieramente a las partes por las consecuencias de la materialización de un riesgo determinado (eventos compensables);
- describir los mecanismos de eliminación de riesgo que ofrece cada una de las partes y la manera en que respaldarán sus obligaciones en el caso de que se materialice un riesgo;
- definir y reglamentar los mecanismos de restablecimiento del equilibrio económico de la APP, y los riesgos y la magnitud del impacto que desencadenarían dicho restablecimiento.

En los cuadros 9A.1 a 9A.4 del anexo de este capítulo, se describen buenas prácticas en la asignación de riesgos en proyectos APP de transporte ferroviario urbano; en el cuadro 9A.5 se presentan las estructuras de asignación de riesgos que se han utilizado en proyectos ferroviarios urbanos recientes en América Latina.

Estructuración de las compensaciones

Dado que los ingresos tarifarios no son suficientes para pagar siquiera los costos totales de O&M, y mucho menos los gastos de capital, los Gobiernos generalmente deben pagar una gran parte de los costos de capital de manera anticipada, para que el proyecto sea más asequible a largo plazo. Este cofinanciamiento público ayuda a reducir la carga financiera del socio privado y está regido por condiciones específicas de elegibilidad, así como por el tipo y el calendario de pagos previstos en el contrato de APP (véase el análisis sobre el cofinanciamiento público en el capítulo 10)[5] . Además del cofinanciamiento, en el contrato también se puede prever el derecho del socio privado de percibir ingresos suficientes durante el período de operación para cubrir gastos tales como los costos de O&M, impuestos, servicio de la deuda y distribuciones de dividendos a los inversionistas.

El hecho de que el Gobierno brinde cofinanciamiento o de que una parte de la compensación por los servicios prestados se proporcione en forma de pagos del Gobierno no significa necesariamente que el socio privado no estará expuesto al riesgo relativo al desempeño del proyecto. La estructuración cuidadosa de las

compensaciones garantiza que la compensación del socio privado esté en consonancia con su desempeño. En el diseño de los mecanismos de compensación se define el conjunto de reglas que establecen cómo y cuándo el socio privado tiene derecho a cobrar al Gobierno por el servicio, lo que incluye las condiciones que deben cumplirse para ameritar los pagos, las fórmulas matemáticas para calcular su monto, y el proceso y los tiempos en función de los cuales se efectuarán.

Pagos durante la construcción o cofinanciamiento público

Cuando se utiliza un enfoque de cofinanciamiento, el contrato incluirá disposiciones en las que se establecerán las condiciones y los plazos de los pagos de subsidio de capital. En general, estos pagos se realizan por un monto total predefinido en el contrato cuando se emite la solicitud de propuestas, o bien pueden referirse a un porcentaje del gasto de capital total propuesto por el partícipe privado en la oferta seleccionada.

Los pagos suelen efectuarse durante la construcción a intervalos de tiempo preestablecidos (en cuyo caso la autoridad examina el valor de los trabajos realizados desde el último pago de acuerdo con el precio de la construcción presentado en la oferta), o bien, cuando se alcanzan hitos específicos. El monto se calcula considerando el porcentaje definido que se cubre mediante el cofinanciamiento, y los pagos se realizan en un período corto establecido en el contrato (por ejemplo, 90 días). En algunos proyectos, una parte o la totalidad de los pagos de subsidio de capital se realizan de forma diferida a largo plazo (por ejemplo, 10 años); estos pagos deben establecerse claramente en el contrato como irrevocables e incondicionales una vez que se hayan aprobado el valor de las obras ejecutadas o el logro de un hito específico. En estas situaciones, el socio privado moviliza un tramo específico de financiamiento para pagar las obras. Este monto se reembolsa con los pagos de subsidios diferidos de capital (véase el capítulo 10).

Es importante que el contrato incluya disposiciones sobre compensación que alineen los intereses relativos a la ejecución del proyecto de los sectores público y privado. Por ejemplo, es posible que el otorgante necesite que el sistema ferroviario urbano esté completo dentro de un plazo determinado. En un enfoque de contratación agrupada, el socio privado también estará incentivado a cumplir con el cronograma de construcción, dado que le interesa que el sistema comience a operar para obtener ingresos a la brevedad posible y comenzar a pagar su deuda.

Pagos durante la operación

También es importante garantizar que el desempeño del socio privado en la operación cumpla con un conjunto mínimo de estándares y requerimientos.

Por lo tanto, los pagos por servicio deben estar vinculados con el nivel de cumplimiento de tales estándares (es decir, vinculados con el desempeño), o bien debe existir un sistema claro y aplicable de penalizaciones por desempeño deficiente (incluso cuando los pagos no sean relevantes o ni siquiera se contemplen)[6]. Los requisitos de desempeño abarcarán cuestiones tales como la frecuencia del servicio, la eficiencia de la operación, las necesidades y los costos de mantenimiento, el ciclo de vida, y la seguridad y la comodidad de los pasajeros (véase el análisis sobre gestión y control del desempeño que se incluye más adelante en este capítulo).

Los requisitos del otorgante lógicamente serán diferentes según el tipo de contrato. En los contratos que incluyan la operación, los requisitos de desempeño estarán relacionados con la capacidad de servicio y la comodidad de los pasajeros. Si el contrato de APP incluye el desarrollo y la gestión de la infraestructura, las disposiciones deberán garantizar que se realice un mantenimiento adecuado durante el período del contrato, lo que incluye el reemplazo de piezas y materiales y la renovación de activos.

Ingresos de usuarios o ingresos tarifarios

Los ingresos tarifarios generalmente no son suficientes para cubrir los costos recurrentes del sistema y, en ocasiones, se descuentan como fuente de ingresos para los socios privados en función de su exposición al riesgo de demanda. Los ingresos de usuarios pueden utilizarse para pagar una parte de los costos del socio privado, reduciendo el monto necesario de los pagos por servicio. Sin embargo, también pueden ser retenidos por el otorgante para fondear una parte de los pagos por servicio, con lo cual se protegería al socio privado del riesgo relacionado con la demanda o ingresos tarifarios.

Al determinar la asignación del riesgo relacionado con el ingreso tarifario, en las disposiciones del contrato de APP deberán considerarse cómo la APP puede verse afectada por factores ajenos al control del socio y contra los cuales debe aislarse. Los riesgos relacionados con el ingreso tarifario se magnifican cuando los proyectos se ponen en marcha sin resolver ciertas incertidumbres claves, incluidas las siguientes:

- la competencia derivada de la superposición de servicios de transporte;
- la disponibilidad de enlaces de transporte y el establecimiento de mecanismos de integración física y operacional con otros operadores de sistemas de transporte público;
- la necesidad de asignar prioridad operacional a los sistemas de tránsito (por ejemplo, dar señal de prioridad de tránsito para los sistemas de LRT a nivel,

o dar prioridad al transporte público de alta capacidad respecto de las modalidades de menor capacidad);

- el grado de integración tarifaria entre las diferentes modalidades de transporte público y la disponibilidad de un sistema de cobro y un mecanismo de compensación (*clearance*) para asignar los ingresos de todo el sistema a los distintos operadores si el Gobierno ha previsto el uso de tarifas integradas;
- los posibles cambios en la política de establecimiento de tarifas (por ejemplo, el uso de tarifas fijas frente a tarifas basadas en la distancia o mecanismos de ajustes periódicos);
- un método anticipado de emisión de boletos (por ejemplo, tarjetas de prepago, pago por uso o crédito electrónico);
- los requisitos para obtener tarifas con descuento (para estudiantes, personas de la tercera edad o usuarios de ingreso bajo);
- la capacidad del sector privado para mitigar el fraude en el pago de las tarifas (sistemas de control de acceso y regímenes de sanciones e infracciones, con poder de policía y autoridad para exigir el cumplimiento de las normas);
- los "riesgos macro" o generales que podrían afectar la economía local e incidir de forma negativa en la demanda, por ejemplo, cambios en la población urbana o la actividad económica.

Sigue existiendo un amplio debate para determinar si la transferencia del riesgo vinculado a demanda o al ingreso tarifario al socio privado genera VpD, aun cuando se limiten los factores de riesgo mencionados anteriormente. Los operadores del sector privado solo están dispuestos a asumir cierto nivel de riesgo de demanda si pueden gestionarlo de manera adecuada. En el caso de los proyectos de APP, es muy importante establecer en el contrato de concesión qué parte es responsable de qué riesgos y qué tipo de medidas implementará el sector público para eliminar los servicios en competencia y aumentar la integración tecnológica, física y tarifaria entre el proyecto ferroviario urbano y otros sistemas de transporte.

Es conveniente armonizar el objetivo de aumentar el uso del transporte público con el interés económico del socio privado creando incentivos en el mecanismo de pago para alentar al operador privado a gestionar el sistema de manera tal que maximice la demanda. Esta alineación de intereses puede lograrse mediante el pago de bonificaciones o la implementación de un sistema en el que el socio del sector público no retenga todos los ingresos

adicionales derivados de los aumentos de la demanda que superen las previsiones originales y acepte compartirlos con el socio privado. El mecanismo basado en bandas de demanda utilizado para la APP de la línea 4 de São Paulo es un ejemplo de un mecanismo de pago que incentiva al operador a incrementar los ingresos tarifarios, y le brinda la oportunidad de compartir los ingresos adicionales que se obtengan cuando la demanda sea superior al escenario de referencia (véase el capítulo 7). Asimismo, la mejor forma de incentivar a la población a utilizar los servicios del proyecto ferroviario urbano es garantizar la excelencia de dichos servicios, especialmente en términos de fiabilidad y puntualidad.

En el contrato de APP debe establecerse claramente que el otorgante o el Gobierno ejercen el control sobre los aumentos de tarifas (véase el recuadro 9.6). En las APP, contar con un ente regulador tarifario que implemente ajustes de tarifa sobre la base de fórmulas transparentes que tengan en cuenta los aumentos de los costos y limiten el riesgo normativo es fundamental para facilitar el financiamiento privado. Las investigaciones sugieren que la mejor práctica en este sentido es aplicar un ajuste anual de las tarifas basado en una fórmula que considere los cambios en el costo de los insumos, la capacidad de pago de los usuarios, la capacidad de los sistemas de metro para incrementar la productividad, y las necesidades futuras de inversión (Anderson, Findlay y Graham, 2012).

RECUADRO 9.6.

Establecimiento de las tarifas: fase 2 del Metrolink de Manchester, Reino Unido

La Fase 2 del proyecto del Metrolink de Manchester incluía una concesión completa, en virtud de la cual los riesgos de ingresos y la facultad de establecer las tarifas se asignaban plenamente a un promotor privado. Tras la expansión del sistema durante esta concesión, hubo un fuerte incremento de la demanda de servicios de Metrolink, y el promotor privado aumentó considerablemente las tarifas. Los opositores sostenían que el aumento de las tarifas era un intento de reducir la demanda, es decir, aumentar el precio a un nivel tal que limitaría la demanda y eliminaría la necesidad de adquirir material rodante adicional.

Sin embargo, el objetivo de la Autoridad de Transporte Público del Gran Manchester (el organismo público que establece las políticas de transporte en Manchester) era maximizar el número de pasajeros. Este conflicto de objetivos contribuyó, en parte, a la rescisión anticipada de la concesión, que implicó la realización de un pago considerable al concesionario.

Fuente: Mandri-Perrot y Menzies, 2010.

En el contrato de APP, también debe establecerse claramente quién es responsable de las adquisiciones de material rodante adicional y cómo se debe modificar la frecuencia del servicio para acomodar crecimientos de demanda.

Por último, tal vez sería conveniente para el socio privado ser el propietario de los ingresos tarifarios (estar legalmente facultado para recaudar y gestionar los ingresos), de modo que esos ingresos puedan ofrecerse como garantía para fortalecer la solvencia crediticia del proyecto. Los socios privados de las APP preferirán tener la facultad de gestionar directamente los ingresos tarifarios a fin de reducir el riesgo crediticio y de liquidez vinculado con los pagos del Gobierno y poder extraer valor de la gestión de fondos. Esta preferencia existe independientemente de que la tarifa pagada al socio privado sea diferente de la que se cobra a los pasajeros: algunos contratos de APP se elaboran sobre la base de un "pago público por usuario" de acuerdo con una tarifa técnica, pero los ingresos generados por la venta de boletos son recaudados y retenidos por el socio privado como anticipo de los pagos que han de liquidarse en cada período de pago (enfoque de pago anticipado). De cualquier modo, en el contrato debe determinarse claramente quién es el propietario de los ingresos tarifarios recolectados y, si se aplica el enfoque de pago anticipado, la forma en que se tratarán tales ingresos en la liquidación general de pagos de la APP. Cuando el socio privado no asume el riesgo de demanda, pero se incluye una exposición limitada a riesgos y recompensa en forma de bonificaciones, en el contrato se establecerá qué porcentaje de los ingresos se obtiene además de los pagos por servicio.

Pagos por servicio

En un contrato de APP con una cantidad considerable de financiamiento privado, probablemente se requiera un pago presupuestario. Este pago debe estructurarse de modo tal que se armonicen los intereses de los socios del sector público y del sector privado. ¿Sobre qué base deben efectuarse estos pagos por servicio? ¿Qué debe considerarse como "desempeño"? Estas preguntas están vinculadas con los objetivos de la autoridad y los aspectos relacionados con el riesgo: ¿son asumibles estos pagos, y aportará VpD la decisión de basar el flujo de pagos en el volumen de usuarios?

El desempeño puede estar relacionado con los estándares relativos a la prestación del servicio de transporte definidos en el contrato (por ejemplo, puntualidad, frecuencia y comodidad), lo que, a su vez, depende en gran medida de la disponibilidad y el funcionamiento adecuado de la infraestructura, pero también de la calidad de las operaciones del servicio (el buen manejo de la flota por parte del operador). La calidad debe incorporarse explícitamente en el mecanismo de pago por medio de penalizaciones.

Aun cuando el pago se centre en el nivel o estándares de servicio, es necesario definir la "unidad de pago", que en el caso de los pagos por volumen corresponde naturalmente al número de pasajeros. Otras unidades de pago incluyen las unidades de tiempo (los pagos se devengan por día o incluso por hora) o el número de kilómetros recorridos por vehículo. Según estos factores y consideraciones, existen tres tipos principales de mecanismos de pago para los contratos de APP de sistemas ferroviarios urbanos: a) pagos por disponibilidad o calidad; b) tarifa técnica basada en vehículos por kilómetro, y c) pagos por usuario o tarifa en la sombra.

Con respecto a los pagos por disponibilidad o calidad, se define un pago máximo anual (de acuerdo con la oferta seleccionada). El pago real se obtiene a prorrata temporal y se calcula teniendo en cuenta el nivel de logro de los requisitos de desempeño definidos en el contrato. El pago máximo se ajusta aplicando reducciones o deducciones como una forma de imponer penalizaciones cuando no se cumplen los requisitos de desempeño.

Al crear un mecanismo de compensación basado en pagos por disponibilidad, deben tenerse en cuenta las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo se controla y se mide el desempeño? ¿Cómo se vincula el pago con los indicadores clave de desempeño (KPI); por ejemplo, disponibilidad, tiempos de espera, frecuencia, seguridad, fraude, entorno, limpieza, condiciones de los andenes, estado de las instalaciones, como las máquinas expendedoras de boletos, la información sobre los horarios del servicio y la asistencia durante el viaje? ¿Cómo se calculan el pago efectivo y las deducciones?
- ¿Cuál es el nivel máximo de deducciones que se ha de imponer al socio privado y cuál es su impacto en el financiamiento?
- ¿Qué KPI se utilizarán para crear un régimen adecuado de deducciones?
- ¿Cuáles son los procedimientos para abordar el problema de falta de desempeño recurrente?
- ¿Cuándo debe efectuarse el primer pago o cuándo comienza el período de pago?
- ¿Cómo es el proceso de facturación y liquidación de pagos, y cuál es el calendario o la frecuencia de los pagos?
- ¿Cómo se ajustará el importe o valor del pago durante el plazo del contrato?
- ¿Cuál es la mejor forma de incentivar al socio privado a maximizar los ingresos tarifarios (incluyendo la minimización del fraude) si se pagará al socio en función de la disponibilidad?

Con las tarifas técnicas basadas en vehículos por kilómetro (y afectadas por disponibilidad), los licitantes calculan su oferta sabiendo de antemano el número total de kilómetros contratados por año de conformidad con el plan de servicios del proyecto. El pago se calcula primero según el número de kilómetros recorridos en un período específico (por ejemplo, días). Los kilómetros no recorridos por cualquier razón que no sea una modificación realizada por el otorgante en el plan de servicios no se cuentan. No todos los kilómetros ameritan el pago o, al menos, no el monto completo. Los viajes que no cumplen con los niveles de desempeño definidos en el contrato (como en el caso de los pagos por disponibilidad puros descritos anteriormente) no se pagan, o bien, se ajusta parcialmente el pago.

Este sistema tiene la ventaja de brindar flexibilidad para realizar ajustes en el plan del servicio de transporte, generalmente con un límite (por ejemplo, un 10 % más o menos del número original de kilómetros), dado que la modificación de la cantidad de servicio tiene un precio predefinido y no se requiere de negociaciones. Por ejemplo, este mecanismo podría permitir que el otorgante solicite una mayor frecuencia en un mes determinado de un año determinado debido a un acontecimiento especial, como un torneo deportivo internacional.

Los pagos por usuario o las tarifas en la sombra vinculan directamente los pagos por servicio a la demanda, medida como el número de usuarios. El enfoque más común cuando se utiliza un mecanismo de pago por usuario consiste en incluir una garantía de volumen mínimo o un sistema más sofisticado de bandas de demanda (véanse, en el capítulo 7, los ejemplos de la línea Canadá en Vancouver y la línea 4 en São Paulo). El licitante presenta en oferta el valor de una tarifa en la sombra base que se aplicará para calcular el pago dentro de una banda de demanda predefinida en el pliego (por ejemplo, desde el 20 % por debajo de la curva de demanda de referencia definida en el contrato hasta el 20 % por encima de dicha curva). Por encima de esa banda, el pago por usuario será menor (por ejemplo, el 50 % de la tarifa en la sombra base). Por debajo de esa banda, el pago por usuario es mayor (por ejemplo, el 150 % de la tarifa en la sombra base). Estos mecanismos de pago por volumen o por usuario también le brindan flexibilidad a la autoridad a la hora de definir la política tarifaria, dado que el impacto en la situación financiera del socio privado es relativamente menor (cuando el nivel de tarifas puede influir en los ingresos al incrementar o reducir la demanda según la elasticidad de la demanda a la tarifa).

Frecuencia de pagos

Medir el desempeño y calcular los pagos insume mucho tiempo, pero el socio privado tiene costos recurrentes y periódicos que debe poder cubrir y pagar. En los sistemas de pagos por disponibilidad, generalmente se contemplan pagos trimestrales; sin embargo, esta frecuencia puede ejercer una presión

financiera indebida en las necesidades de liquidez del socio privado. Los pagos mensuales representan la mayor frecuencia de pagos que se puede observar; sin embargo, adoptar esta frecuencia resulta complicado cuando el pago implica evaluar el nivel de desempeño y aplicar deducciones cuando el nivel de servicio está por debajo de los requerimientos.

Una solución es establecer un método de pagos mensuales provisionales para que, al final de cada trimestre, el otorgante finalice todos los cálculos relacionados con el desempeño y ajuste los pagos mensuales provisionales según el desempeño dentro del tercer mes de pago. Los pagos mensuales provisionales se efectúan considerando una deducción provisional equivalente a la finalmente aplicada en el trimestre anterior.

Actualización de pagos

Los costos de O&M lógicamente varían a lo largo del plazo del contrato debido a los cambios en el precio de los insumos. La forma más habitual y simple de captar el efecto de los cambios en el precio de los insumos es vincular los pagos del servicio con la inflación, aplicando el índice de precios al consumidor (IPC) pertinente[7]. En algunos contratos se incluyen fórmulas de actualización más complejas que incluyen la indexación de componentes de costos concretos. En muchos otros contratos, se define un factor de actualización que solo afecta un porcentaje del pago: el porcentaje que se considera que está vinculado con los costos variables. Los costos variables incluyen los costos de energía (un costo fundamental de la operación de un sistema ferroviario urbano), otros costos operacionales y, en la medida en que las tasas de interés sean variables, el costo del financiamiento.

Primer pago e inicio temprano de operaciones

A fin de incentivar al socio privado a desarrollar la infraestructura para una puesta en marcha el antes de lo previsto, se puede incluir en el contrato una disposición según la cual el ahorro generado por la entrada temprana en servicio (por ejemplo, la reducción de los costos financieros mediante la amortización anticipada de la deuda privilegiada) puede compartirse entre el otorgante y el socio privado. Por otra parte, en los contratos de APP que incluyen O&M, el período de puesta en marcha temprana puede tratarse como una extensión del período del proyecto, y los ingresos adicionales netos recibidos (después de considerar los costos de operación habituales del socio) pueden compartirse entre el socio y el otorgante.

Otras disposiciones sobre las compensaciones

Además de estas fuentes de compensación, el socio privado puede obtener compensaciones o retribución de otras fuentes de "ingresos secundarios" (véase el capítulo 10). La facultad de recaudar ingresos de estas otras fuentes

debe especificarse en el contrato. Se considera una buena práctica que el otorgante incentive la explotación de ingresos comerciales no tarifarios por parte del socio privado y que perciba una porción de los ingresos adicionales generados.

Gestión y control del desempeño

En el diseño del proyecto, se establecen parámetros de nivel de servicio numerosos y diversos, que pueden formar parte de las obligaciones técnicas del contrato de APP. Sin embargo, generalmente es necesario establecer un número limitado de KPI para permitir el seguimiento del servicio prestado por el socio (véase elcuadro 9.3). Los KPI deben ser definibles, significativos, cuantificables y susceptibles de seguimiento y verificación. Estos indicadores, que se utilizan para

CUADRO 9.3. Ejemplos de indicadores clave de desempeño habituales en sistemas ferroviarios urbanos

CATEGORÍA	INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
Fiabilidad y puntualidad	Fiabilidad diaria o mensual del sistema	Número de viajes reales en comparación con el número de viajes programados por día por mes
	Salidas anticipadas	Número de trenes que salen antes de la hora especificada
	Salidas tardías	Número de trenes que salen después de la hora especificada
	Primeros o últimos trenes que salen de forma anticipada	Número de primeros o últimos trenes que salen antes del tiempo de tolerancia aplicado a las salidas anticipadas
Satisfacción del usuario	Desempeño en las encuestas de satisfacción	Encuesta anual, independiente y publicada, medidas correctivas, y mejoras efectuadas
	Recepción de comentarios de los usuarios	Número de respuestas a los comentarios de los usuarios no realizadas dentro de un plazo admisible
	Disponibilidad de información en tiempo real	Número de horas en las que las pantallas no estuvieron disponibles
	Disponibilidad y exactitud de los horarios	Número de lugares designados a exhibir los horarios en los que faltan los horarios o se muestra información desactualizada
	Disponibilidad de personal que interactúa con los usuarios	Disponibilidad de personal que interactúa con los usuarios con relación a un parámetro comparativo acordado (generalmente medido como un porcentaje del total de horas de personal por estación y por período)

(*El cuadro continúa en la página siguiente*)

CUADRO 9.3. Ejemplos de indicadores clave de desempeño habituales en sistemas ferroviarios urbanos *(Continuación)*

CATEGORÍA	INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
Limpieza y mantenimiento general	Limpieza de los vehículos ferroviarios urbanos	Cantidad de limpiezas realizadas
	Eliminación de grafitis de los vehículos ferroviarios urbanos	Número de incidencias resueltas dentro del período de presentación de informes
	Reparación de vehículos ferroviarios urbanos dañados	Número de daños informados y reparados antes de restablecer el servicio
	Limpieza de las estaciones	Cantidad de limpiezas realizadas
	Eliminación de grafitis de las estaciones	Número de incidencias resueltas dentro del período de presentación de informes
	Reparación de daños generales a las estaciones	Número de daños reparados dentro del período de presentación de informes (generalmente incluye un cierto número de casos no informados)
	Disponibilidad de máquinas expendedoras de boletos, oficinas y torniquetes	Número de dispositivos y horas que no están disponibles o no funcionan
Acceso y seguridad	Disponibilidad de un sistema de alarma para los pasajeros	Número de horas sin disponibilidad
	Disponibilidad de televisión por circuito cerrado	Número de horas sin disponibilidad
	Disponibilidad de iluminación	Número de defectos o fallos no reparados dentro de un período determinado tras informarse por primera vez
	Disponibilidad de ascensor o escalera mecánica	Número de horas sin disponibilidad
	Garantía de ingresos (fraude)	Logro de un nivel especificado de seguridad de ingresos (generalmente medido a través de una comparación de los ingresos recaudados con las cifras de contadores automáticos de pasajeros)
Calidad de viaje y emisión de ruidos	Índice de calidad de viaje	Desempeño en evaluaciones periódicas de los vehículos
	Ruido y vibración (dentro de los vehículos ferroviarios urbanos)	Realización de pruebas periódicas de niveles de ruido y vibración dentro de cada vehículo ferroviarios urbanos a lo largo de toda la ruta del sistema
	Ruido y vibración (dentro de las estaciones)	Realización de pruebas periódicas de niveles de ruido y vibración dentro de las estaciones del sistema
	Ruido y vibración (en sitios de la ruta)	Realización de pruebas periódicas de niveles de ruido y vibración generados por cada vehículo ferroviario urbano en sitios a lo largo de la ruta del sistema
	Saturación	Cumplimiento de los límites de densidad de pasajeros de pie establecidos en las especificaciones de desempeño

garantizar el cumplimiento de los principales objetivos contractuales, también pueden servir como medio para evaluar los niveles de desempeño y con frecuencia se emplean para implementar planes de incentivos en esferas en las que se espera que el desempeño del promotor privado supere los requerimientos contractuales básicos. La mayoría de las APP de transporte ferroviario urbano que incluyen operación privada emplean sistemas de gestión del desempeño que incluyen fórmulas para vincular la evaluación del desempeño con el cálculo de la compensación o retribución.

Especificación de los objetivos de desempeño y ponderación de los indicadores clave de desempeño

Para aplicar eficazmente la información recopilada a través del seguimiento continuo de los KPI, se necesita un sistema para normalizar los datos de manera constante en un formato utilizable. La normalización de los datos permite combinar KPI con unidades de medida disímiles (por ejemplo, número de incidentes, tiempo o clasificaciones cualitativas). Medir el porcentaje del nivel de logro de los KPI es una forma de normalizar los datos en una escala continua:

$$\text{Logro (\%)} = \frac{\text{Valor medido}}{\text{Valor objetivo}} * 100\ \% \tag{9.1}$$

Según el ejemplo anterior, los planificadores pueden optar por limitar el logro al 100 % o establecer un valor mayor cuando el desempeño supera los objetivos. Por otra parte, la medición del logro de los KPI puede incluir una serie escalonada de umbrales similar a la siguiente:

$$\text{Logro (\%)} = \begin{cases} \text{X \% cuando el valor del KPI medido} \geq \text{valor objetivo A} \\ \text{Y \% cuando el valor objetivo A} > \text{valor del KPI medido} \geq \text{valor objetivo B} \\ \text{Z \% cuando el valor del KPI medido} < \text{valor objetivo B} \end{cases} \tag{9.2}$$

Esta metodología escalonada quizás sea preferible a la medición continua cuando los KPI incluyen evaluaciones subjetivas o cuando los planificadores prefieren establecer bandas de tolerancia en torno a una medición determinada.

Las autoridades pueden optar por asignar diferentes ponderaciones a ciertos KPI que tienen mayor impacto en la calidad de los servicios de transporte ferroviario urbano. A continuación, se muestra un método para incorporar ponderaciones a un factor de ajuste de KPI total:

$$\text{Factores de ajuste del KPI} = \sum_{KPI} (\text{Logro, \%})_{KPI} * (\text{factores de ponderación})_{KPI} \tag{9.3}$$

donde 100 % = S (factores de ponderación de todos los KPI).

Vinculación de las especificaciones de desempeño con los pagos

Gran parte del valor relacionado con los sistemas de gestión del desempeño proviene de su capacidad de incidir en las compensaciones que se pagan a los operadores privados. Para ajustar las compensaciones, se necesita una gestión cuidadosa y una cierta noción de lo que constituye un nivel adecuado de valor en riesgo. Reducir la certeza de los flujos de efectivo puede aumentar las primas de riesgo, disminuir la viabilidad financiera y poner en peligro la bancabilidad del proyecto. Por el contrario, es posible que un nivel de valor en riesgo muy bajo no brinde incentivos suficientemente sólidos para el buen desempeño. En los contratos de APP para la operación de transporte ferroviario urbano generalmente se resuelve este conflicto limitando el alcance del sistema de gestión del desempeño a una fracción razonable de la compensación total para el socio privado (véase el recuadro 9.7). Por ejemplo, en un contrato de APP estructurado en torno a un pago por disponibilidad, la compensación total para el operador puede determinarse con una fórmula similar a la siguiente:

RECUADRO 9.7.

Indicadores clave de desempeño y sistemas de gestión del desempeño en asociaciones público-privadas: línea 1 de Lima, Perú, y línea 4 de São Paulo, Brasil

Línea 1 del metro de Lima

Se realiza el seguimiento de estos indicadores del nivel de servicio provisto:

1. Intervalo entre trenes. Mide si se respetan las frecuencias contratadas entre las 6.00 y las 22.00. Se mide durante las horas pico y las horas valle: de 8.00 a 13.00: 6 minutos; antes de las 8.00: 12 minutos; de 13.00 a 20.00: 10 minutos; de 20.00 a 24.00: 12 minutos (véase la imagen B9.7.1).
2. *Disponibilidad del servicio.* Realiza el seguimiento de la velocidad de movimiento (la velocidad comercial no debe ser inferior a 35 kilómetros por hora). Se calcula como la relación entre los tiempos de viaje reales y los programados y tiene un valor mínimo de 0,95. El indicador se mide sobre la base de promedios móviles de dos meses. Sin embargo, para evaluar los pagos por servicio trimestrales, el cálculo se realiza utilizando promedios de tres meses.
3. *Regularidad del servicio.* Realiza el seguimiento de la puntualidad del servicio comparando los horarios programados y reales de los trenes. Se calcula utilizando promedios móviles de dos meses, excepto para determinar el pago trimestral, en cuyo caso se utiliza un promedio móvil de tres meses.
4. *Limpieza de las estaciones y los trenes.* Indica el nivel de limpieza de las estaciones y los trenes y se mide semanalmente. Se divide en dos componentes de igual ponderación: la limpieza de las estaciones y la limpieza del material rodante.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 9.7.

Indicadores clave de desempeño y sistemas de gestión del desempeño en asociaciones público-privadas: línea 1 de Lima, Perú, y línea 4 de São Paulo, Brasil *(Continuación)*

IMAGE B9.7.1. Pasajeros esperan el tren en la Estación Gamarra, metro de Lima, Perú, 2012

Fuente: Jorge Gobbi, a través de Flickr Commons (CC BY 2.0).

5. *Fraude. Mide la incidencia de viajes no pagados.* Se calcula mensualmente utilizando una muestra de 5 usuarios cada 1000 usuarios durante un período de 1 semana. El fraude previsto es del 8 %. Se calcula utilizando promedios móviles de tres meses a partir de las inspecciones semanales.

Línea 4 de São Paulo

1. *Intervalo entre trenes.* Realiza el seguimiento de la regularidad del servicio. Se define como el intervalo promedio entre los trenes desde el primer tren medido al comienzo del período hasta el primer tren posterior al final del período. El intervalo

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 9.7.

Indicadores clave de desempeño y sistemas de gestión del desempeño en asociaciones público-privadas: línea 1 de Lima, Perú, y línea 4 de São Paulo, Brasil *(Continuación)*

real se mide como el tiempo transcurrido entre la apertura de las puertas de un tren y la apertura de las puertas del tren anterior en el mismo andén. El indicador se calcula diariamente mediante la relación entre las mediciones promedio de intervalos entre trenes.

2. *Tiempo medio de viaje en horas pico.* Realiza el seguimiento de la velocidad de viaje de los usuarios. Se define como el tiempo que emplea el tren para recorrer el trayecto entre las estaciones terminales de la línea. El comienzo del viaje es el momento en que la alarma suena y se cierran las puertas del tren en la estación inicial y termina cuando las puertas del tren quedan completamente abiertas en la última estación.
3. *Cumplimiento de la oferta programada.* Realiza el seguimiento del cumplimiento de la planificación diaria de la oferta. Se define como la relación entre el número de viajes realizados y el número de viajes programados (viaje completo desde y hasta estaciones terminales).
4. *Accidentes.* Mide la seguridad en la línea del metro. Se define como la relación entre el número total de accidentes y el número total de pasajeros transportados en la línea (mensualmente).
5. *Delitos.* Mide el nivel de seguridad pública en la línea. Se define como la relación entre el número de delitos y faltas y el número total de pasajeros transportados en la línea en un mes.
6. *Validación del acceso.* Mide el tiempo que los usuarios pasan en el área de pago. Se define como el número de mediciones que indican menos de tres minutos pasados en la cola o el número total de mediciones, y se calcula tomando muestras.
7. *Encuesta de satisfacción del usuario.* Mide los atributos utilizados tradicionalmente para evaluar la calidad de los servicios de transporte y los aspectos específicos del sistema de metro, que son la fiabilidad, la comodidad, la seguridad pública, la seguridad, la velocidad, y la atención y la información para el usuario.

Fuente: Banco Mundial, 2015.

$$\text{Pago de compensación} = PPD_{fijo} + PPD_{variable} * (\textit{factor de ajuste de KPI}), \quad (9.4)$$

Donde

- PPD_{fijo} es la parte del pago por disponibilidad que se obtiene simplemente cumpliendo con estándares mínimos y fácilmente alcanzables aplicables a los servicios de transporte ferroviario urbano.
- $PPD_{variable}$ es la porción del pago por disponibilidad total sujeta a los términos del sistema de gestión del desempeño del proyecto.

- *(Factor de ajuste de KPI)* representa el desempeño combinado en los KPI, según se lo pondera en el acuerdo de operación del sistema.

Para determinar una fracción adecuada de la remuneración en riesgo del socio privado, es preciso realizar un análisis profundo y entablar un diálogo permanente con los posibles socios del sector privado. Los planificadores deben considerar específicamente los siguientes aspectos:

- las necesidades de efectivo para el servicio de la deuda del proyecto, incluidos los gastos de O&M y las inversiones que requieran fondos;
- las sumas mínimas que los socios privados consideran significativas;
- el nivel de los objetivos de desempeño de KPI que los operadores deberían ser capaces de alcanzar con regularidad.

Cuando los sistemas de gestión del desempeño establecen un nivel de valor en riesgo muy alto, los socios privados cobrarán una prima de riesgo al sector público. Los sistemas de gestión del desempeño excesivamente exigentes pueden incluso tornar un proyecto inviable desde el punto de vista financiero cuando los socios del sector privado perciben la posibilidad de que autoridades públicas inescrupulosas impongan deducciones excesivas y poco razonables.

Conclusiones y recomendaciones

Las APP son relativamente más complejas en los proyectos ferroviarios urbanos que en otros proyectos de transporte y han tenido resultados *muy dispares*. Los primeros proyectos ferroviarios urbanos desarrollados a través de APP en la década de 1990 y principios de la década de 2000 distaron mucho de alcanzar un VpD óptimo debido a demoras en la construcción, costos de los proyectos superiores a los previstos o una demanda inferior a la esperada. En muchos casos, los organismos públicos de ejecución del proyecto se vieron obligados a tomar las riendas del resto del desarrollo del proyecto ferroviario urbano (Pulido y Hirschhorn, 2015). No obstante, se observa un creciente interés en la participación del sector privado en el transporte ferroviario urbano, en un contexto donde las necesidades de transporte urbano exceden la capacidad de los recursos del sector público y en el que cada vez más países establecen marcos de APP.

Para capitalizar los beneficios de las APP, los organismos de ejecución del proyecto deben invertir en una preparación de proyectos sólida y en capacidad de gestión de contratos. El objetivo que el sector público busca con la creación de APP es obtener capacidad y conocimiento, eficiencia, y capital del sector

privado. Estos beneficios tienen su costo, que se relaciona principalmente con los cuantiosos recursos necesarios para la preparación de proyectos y la gestión de contratos, funciones que no pueden delegarse por completo. La experiencia demuestra que, independientemente del alcance que se decida para la APP y aun cuando se cuenta con consultores, se necesita un sector público altamente competente con un sólido marco institucional y un fuerte equipo de gestión que sea capaz de evaluar opciones, problemas, ofertas y el desempeño de los contratistas.

Las APP deben emplearse únicamente cuando el sector público tiene la capacidad efectiva de medir y supervisar la calidad del servicio (se trate de la provisión de infraestructura o de la operación) contratado. En este sentido, el adecuado establecimiento y el seguimiento de los KPI es fundamental para que las APP puedan brindar un servicio con el nivel superior de calidad, fiabilidad y puntualidad que se espera de la participación del sector privado.

Aun en proyectos complejos y riesgosos como los sistemas ferroviarios urbanos, las APP pueden proporcionar beneficios. Las grandes inversiones de capital necesarias, el elevado riesgo y la limitada recuperación de costos con tarifa reducen las posibilidades de atraer volúmenes considerables de financiamiento privado en las APP de transporte ferroviario urbano. Sin embargo, las APP pueden brindar beneficios en forma de eficiencia, transferencia parcial del riesgo y gestión del ciclo de vida a través de una alineación de intereses que es difícil de lograr con modelos de ejecución de proyectos más convencionales. En los recientes proyectos de APP de transporte ferroviario urbano, más que las posibilidades de atraer importantes volúmenes de financiamiento privado, las principales motivaciones para contratar proyectos ferroviarios urbanos a través de APP fueron la reducción del tiempo necesario para la implementación de los proyectos y la minimización de los posibles problemas de interfaces entre los componentes de los proyectos.

Las APP en el transporte ferroviario urbano a menudo se han desestimado con el argumento de que el riesgo relativamente alto de estos proyectos impide la transferencia del riesgo al socio del sector privado y, por ende, limita sus beneficios. Sin embargo, incluso en los proyectos ferroviarios urbanos más complejos, se puede realizar una transferencia parcial del riesgo cuantificando los posibles riesgos y estableciendo mecanismos de compartición de riesgos (como las bandas de distribución de riesgos y los límites máximos de financiamiento) en los contratos. En definitiva, la transferencia eficaz de los riesgos depende no solo de lo que se establece en los contratos, sino también de la capacidad de la parte que asume el riesgo para gestionarlo con eficacia. Esta capacidad depende de la cualificación o solvencia técnica y la solvencia financiera del socio del sector privado, y de los incentivos para la gestión adecuada de los riesgos que se incorporen en el mecanismo de compensación.

Los beneficios de las APP con financiamiento privado en el transporte ferroviario urbano podrían verse contrarrestados por el costo adicional de capital. En el supuesto de que exista una asignación de riesgos adecuada que se refleje debidamente en el contrato, una forma de proteger el VpD es reducir el costo de financiamiento del proyecto de APP y, a la vez, mantener una tensión financiera adecuada en la parte privada. En algunos de los mercados de APP más desarrollados, el socio del sector público cofinancia los proyectos que requieren un uso intensivo de capital. Las APP cofinanciadas pueden ayudar a reducir el costo de capital, aliviar la carga presupuestaria del desarrollo ferroviario urbano a largo plazo y hacer que el proyecto resulte más asequible. Además del cofinanciamiento público, el costo de capital también puede reducirse mediante técnicas de eliminación de riesgos, siempre teniendo en cuenta la importancia de mantener una transferencia del riesgo suficiente para incentivar el desempeño del socio privado.

Las APP se basan en estructuras de pago y asignación de riesgos que deben ser implantadas en contratos bien redactados y manejables. Los mecanismos de asignación de riesgos y compensación son los elementos básicos del contrato de APP. Las cuestiones comerciales como la solución de controversias, los derechos de los prestamistas, y otras regulaciones financieras y regímenes de penalizaciones también son esenciales para el éxito del proyecto. En muchos contratos, se incluyen los instrumentos para gestionar y administrar el contrato durante su vigencia. Es especialmente importante que los derechos y las obligaciones se describan claramente para evitar ambigüedades, comenzando con los requerimientos técnicos, las especificaciones de servicio y los KPI que vincularán el desempeño y los ingresos.

Al diseñar y elaborar el contrato de APP, también es importante considerar la flexibilidad, para permitir que los cambios en las circunstancias se aborden, en la medida de lo posible, dentro del contrato, y no den lugar a renegociaciones o a la rescisión del contrato, y para generar certezas siempre que sea posible, y una flexibilidad limitada donde sea necesario (es decir, fronteras para los cambios) (BAsD y otros, 2016).

El éxito último de las APP en el ámbito ferroviario urbano sigue dependiendo de la existencia de un entorno propicio. Para que en un proyecto se logre aplicar el modelo de contratación APP, tanto el proyecto como el contexto (principalmente, el contexto macroeconómico y de mercado financiero) deben ser aptos para una APP. La participación privada no se adecúa a todos los proyectos y contextos, y no debe impulsarse simplemente porque podría ayudar a obtener financiamiento privado o eludir restricciones normativas contables o fiscales. Para que las APP generen VpD, los marcos institucional, legal y regulatorio del país y del municipio deben respaldar la estructuración y gestión adecuadas de los contratos.

Annex 9A. Asignación de riesgos relacionados con las asociaciones público-privadas en proyectos de desarrollo ferroviario urbano

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Disponibilidad y adquisición de terreno (o emplazamiento)	El terreno es necesario para los patio talleres y otras instalaciones, además de la vía segregada. Esto generalmente es responsabilidad de la autoridad pública. La incertidumbre acerca de la disponibilidad del sitio o emplazamiento probablemente conlleve que ningún licitante participe o que no se obtenga financiamiento. Los terrenos generalmente serán propiedad de las autoridades municipales; por lo tanto, en el caso de los proyectos adquiridos por otros niveles de Gobierno, como estatal o provincial, la autoridad contratante deberá adquirir el emplazamiento o cerciorarse de que esté reservado o asignado para el proyecto. La autoridad normalmente es la única parte con facultades para expropiar tierras de los propietarios existentes, aunque en algunos países estas facultades pueden delegarse al socio privado (otorgándole el título de "beneficiario de la expropiación").	X		Se considera una buena práctica que el emplazamiento esté disponible cuando se pone en marcha la licitación del proyecto, pero incluso si el partícipe privado debe realizar alguna expropiación, la autoridad contratante debe retener los riesgos vinculados con el costo y la disponibilidad de los terrenos, incluido el costo de reubicación de los actuales ocupantes (si fuera necesario).

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo (y evaluación) ambiental	La preparación de una evaluación del impacto ambiental (EIA) y un plan de gestión ambiental (PGA) aprobados por la autoridad pertinente es uno de los requisitos para el desarrollo del proyecto. En la EIA se identifican los impactos ambientales, y se pueden recomendar modificaciones en el diseño del proyecto. En el PGA se esbozan las medidas necesarias para mitigar los impactos identificados en la EIA. Estas medidas tienen repercusiones en cuanto a los costos y el calendario de ejecución (véase el capítulo 15). Las especificaciones del proyecto que se definen cuando se pone en marcha la licitación deben cumplir con las regulaciones ambientales y los impactos abordados, y el diseño preliminar o esbozo del proyecto deben haber sido comprobados con el organismo ambiental pertinente. En algunos países, es habitual solicitar una evaluación ambiental preliminar. Estos riesgos generalmente se clasifican en la fase de construcción. Sin embargo, el riesgo también puede afectar los costos de O&M (por ejemplo, en caso de incumplimiento de las leyes ambientales detectado durante la operación o modificaciones de las leyes ambientales).	(X)	X	El riesgo de ejecución inadecuada del PGA es asumido por el partícipe privado, que generalmente está a cargo de elaborar y ejecutar el plan basado en la EIA. La parte pública normalmente retiene los riesgos derivados de las modificaciones del diseño del proyecto causadas por cuestiones ambientales que quedan fuera de los límites o directrices establecidos en la EIA. *Cuándo o en qué medida lo asume o comparte la autoridad pública* La autoridad debe anticipar los impactos ambientales en la mayor medida posible a fin de limitar o mitigar este riesgo para beneficio de ambas partes. La autoridad debe seguir siendo responsable de evaluaciones adversas relacionadas con las especificaciones estipuladas en el contrato.
Otros permisos	Las demoras en la obtención de los permisos necesarios para la construcción retrasarán el inicio de la construcción, y la eliminación de tales demoras generalmente es una condición para la entrada en vigor de la mayoría de los contratos de financiamiento.		X	Por lo general, el socio privado debe prever los permisos necesarios y evaluar las repercusiones y los riesgos conexos. También se considera una buena práctica que la autoridad pública se comprometa a respaldar con el mayor empeño posible al socio privado a fin de que este obtenga los permisos necesarios para la construcción, o a contemplar alguna forma de protección en el contrato para los casos de conducta irrazonable de las autoridades que otorgan los permisos.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo inherente al diseño	En términos generales, el riesgo inherente al diseño se refiere a dos tipos de hechos: • Vicios en el diseño como consecuencia de los cuales el activo se construye pero sin cumplir con los estándares establecidos, los requerimientos legales y las condiciones impuestas por las estipulaciones ambientales o de otra índole. En tales circunstancias, es preciso modificar el proyecto, lo que ocasiona demoras y, sobre todo, aumento de los costos. • Vicios o fallas en el diseño debido a los cuales el proyecto no cumple con los estándares de servicio exigidos en el contrato, o que generan un aumento de los costos de O&M para cumplir con los requerimientos de servicio.		X	Dado que el diseño en las APP suele estar a cargo de la parte privada, dicha parte generalmente debe asumir el riesgo inherente al diseño.
Riesgo inherente a la construcción (general)	El riesgo inherente a la construcción se refiere a la posibilidad de que, durante la fase de diseño y construcción, el plazo de construcción o los costos reales del proyecto superen los previstos. La demora en la terminación o la puesta en servicio es una categoría de riesgo separada o específica. En términos generales, los riesgos inherentes a la construcción pueden ser causados por vicios o errores en el diseño, la falta de una planificación adecuada, la falta de una gestión adecuada del proyecto y cronograma del programa de construcción, vicios en los métodos utilizados, u otras causas relacionadas con el desempeño deficiente o incluso la negligencia del socio privado (o sus contratistas), lo que incluye aquellos factores externos que deberían haberse previsto, pero no se previeron.		X	Este riesgo es asumido por el socio privado. Sin embargo, en el contrato se deben contemplar exenciones (dispensas de las obligaciones y las posibles penalizaciones relacionadas) o compensaciones en caso de que se materialicen ciertos riesgos, las principales categorías de los cuales se explican en el cuadro 9A.4.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Demora en la construcción y puesta en servicio (general)	La demora en la terminación de la construcción y, por ende, en la puesta en servicio retrasará el inicio de las operaciones y, por lo tanto, dará lugar al aumento de los costos financieros acumulados y a la pérdida o el retraso de la obtención de ingresos. "Terminación" se refiere a la finalización de las obras de construcción, y "aceptación para la puesta en servicio" se refiere a la autorización del inicio de la operación. La transición desde la terminación de las obras hasta la puesta en servicio es muy importante y puede ser un proceso complejo en algunos proyectos. Habrá un período de pruebas para comprobar que el servicio funcione según lo previsto, antes de que se otorgue la aceptación definitiva.		X	Como regla general, el riesgo inherente a la construcción o el diseño debe ser asumido por el socio privado, con sujeción a las excepciones que puedan contemplarse en el contrato, sobre la base de algún hecho de riesgo específico incluido en el cuadro 9A.4. El riesgo se transferirá naturalmente al partícipe privado por medio de la pérdida de ingresos y también a través de penalizaciones explícitas (que pueden incluir hasta la rescisión por incumplimiento).
Condiciones del emplazamiento y del terreno: aspectos geotécnicos	El riesgo de condiciones geológicas o geotécnicas imprevistas generalmente se asigna a la parte del sector privado en un proyecto convencional, es decir, en proyectos donde las condiciones geotécnicas no representan un desafío importante, o la información sobre las condiciones del terreno puede comprobarse eficazmente, como la mayoría de los proyectos ferroviarios urbanos en superficie (habitualmente, metro ligero). En los proyectos ferroviarios urbanos subterráneos, los riesgos geotécnicos son significativos. Un cambio en las condiciones geotécnicas previstas o la incapacidad de anticipar tales condiciones producirán un aumento considerable de los costos (un ejemplo extremo es el caso en que se debe reemplazar una tuneladora porque no puede perforar el túnel debido a condiciones geológicas imprevistas).	(X)	X	Como regla general, el riesgo geotécnico debe asignarse al socio privado, a excepción de los proyectos de transporte subterráneo con un nivel importante de riesgo e incertidumbre. *Cuándo o en qué medida lo asume o comparte la autoridad pública* En los proyectos con un nivel considerable de riesgo, es habitual que el riesgo se comparta, o que se limite la exposición al riesgo del socio privado. Las mejores prácticas incluyen definir un valor de referencia de condiciones geotécnicas, que se utilizará para evaluar la importancia relativa de las condiciones adversas que facultan al partícipe privado a obtener una ayuda financiera o compensación (o ambas partes pueden rescindir el contrato en condiciones similares o como consecuencia de hechos de fuerza mayor).

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Condiciones del emplazamiento y del terreno: vicios ocultos *(Nota: Solo se aplica a proyectos muy específicos).*	Cuando una parte del activo ya existe o está construida (cuando se emplea material rodante que ya está en uso o se asume la responsabilidad de gestionar infraestructura existente en un contrato para ampliar el sistema), existe el riesgo de que surjan vicios ocultos en el futuro y el socio privado se vea obligado a realizar inversiones imprevistas para reparar o sustituir el activo.	(X)	X	El riesgo de vicios ocultos (defectos en el emplazamiento o en la infraestructura según esta fue previamente construida y mantenida) debe ser asumido por el partícipe privado, siempre que haya información significativa disponible para que los posibles licitantes puedan investigar y evaluar las condiciones del activo antes de presentar la oferta. *Cuándo o en qué medida lo asume o comparte la autoridad pública* Cuando la información es insuficiente o inadecuada, se considera una buena práctica compartir este riesgo en cierta medida, limitando la exposición del socio privado. Si surge un defecto que no era razonablemente previsible de acuerdo con las buenas prácticas profesionales, y siempre que tenga un impacto adverso importante, los riesgos serán compartidos o compensados parcialmente por la autoridad, y se tratará el hecho como un evento compensable.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Condiciones del emplazamiento y del terreno: hallazgos arqueológicos	Los hallazgos arqueológicos pueden causar impactos significativos en los costos y plazos del proyecto: • Pueden afectar considerablemente el proyecto si, por ejemplo, se debe hacer un cambio en el trazado. • Puede ser necesario realizar obras para preservar o proteger los hallazgos o reubicarlos. • De cualquier modo, las obras se paralizarán hasta que se lleve a cabo una evaluación detallada, lo que puede ocasionar grandes demoras (siempre que los hallazgos afecten la ruta crítica de la construcción). Cuando los hallazgos arqueológicos representan un riesgo considerable en el emplazamiento del proyecto concreto, es fundamental que la autoridad realice estudios de sitios arqueológicos (mapas arqueológicos), incluidas pruebas de excavación, durante las actividades de preparación.	X	X	Los hallazgos arqueológicos representan un riesgo que generalmente es asumido, en cierta medida, por el socio privado, con una exposición limitada o compartida por la parte del sector público, si la incertidumbre se considera significativa. Los hallazgos imprevistos varían considerablemente según las prácticas y el marco jurídico del país: • Generalmente, se considera una buena práctica que el socio privado esté expuesto en cierta medida, ya que el riesgo es, sobre todo, un riesgo relacionado con el tiempo (posibles demoras en la construcción) y puede mitigarse considerablemente mediante la gestión adecuada del calendario de construcción. • También es una buena práctica que los riesgos que supongan un impacto grave para el proyecto, siempre que no se hayan previsto a través de estudios u otra información disponible, sean retenidos por el partícipe público, al menos en virtud de un mecanismo de riesgo compartido, por ejemplo, otorgando una exención en caso de demoras que superen un período de retraso determinado. Los riesgos imprevistos deben evaluarse sobre la base de una línea base de condiciones (en este caso, mapas arqueológicos) o vincularse, en cierta medida, con información objetiva para poder determinar si el riesgo era o no un hecho previsible en un proceso de diligencia debida.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.1. Asignación de riesgos relacionados con el diseño y la construcción del proyecto, incluidas las condiciones del emplazamiento *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Condiciones del emplazamiento y del terreno: reubicación de los servicios públicos	Este riesgo está relacionado con los costos adicionales y las demoras en la ejecución causados por la interferencia imprevista con las redes de servicios públicos. Al igual que en el caso de los riesgos ambientales y arqueológicos, es fundamental que el socio del sector público mitigue estos riesgos investigando y analizando las ubicaciones de los servicios públicos con anterioridad a la licitación del contrato. En el contexto del transporte ferroviario urbano, este riesgo generalmente es alto si no se dispone de información sobre las ubicaciones y las condiciones físicas de los servicios públicos.	(X)	X	En general, la autoridad otorgante puede transferir este riesgo al socio privado cuando existe información adecuada sobre los servicios públicos. *Cuándo o en qué medida lo asume o comparte la autoridad pública* Cuando la información sobre la ubicación de los servicios públicos no está disponible o es deficiente, es frecuente que la autoridad pública comparta este riesgo y establezca un límite o tope máximo de la exposición al riesgo del socio privado con respecto a las demoras y los costos adicionales.

Fuente: Datos recopilados por K-Infra, basados en información de dominio público.
Nota: EIA = evaluación del impacto ambiental; PGA = plan de gestión ambiental; O&M = operación y mantenimiento; APP = asociación público-privada.

CUADRO 9A.2. Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo relacionado con los ingresos: volumen de demanda	Se refiere al posible impacto de la demanda o utilización inferior a la prevista. Como regla general, la decisión sobre la asignación del riesgo de demanda o utilización se basa en el alcance del proyecto. Si en el contrato no se proporcionan los instrumentos para gestionar el riesgo de demanda (cuando no se incluyen la operación), el riesgo no debe transferirse. Por el contrario, cuando se incluye la operación (integración vertical), debe transferirse cierto nivel de riesgo y recompensa vinculado con el volumen de uso o demanda.	X	(X)	Incluso en el supuesto de una integración vertical (donde las operaciones están a cargo del socio privado), se prevé que el socio público deberá asumir una parte importante del riesgo de demanda (a través de los pagos por disponibilidad). Suponiendo que el contrato del proyecto incluye la operación, el enfoque adecuado más frecuente consiste en una transferencia del riesgo limitada basando los ingresos principalmente en pagos por disponibilidad (y solo parcialmente en la demanda) o pagando en función de la demanda, pero según un sistema de bandas (como en algunos programas de LRT de España) o garantías de ingresos mínimos, como se describe en algunos ejemplos del capítulo 7. *Nota:* Algunos aspectos del riesgo de demanda deben ser retenidos por la autoridad pública, y el socio privado debe estar adecuadamente cubierto contra ellos. La causa más común de la disminución de la demanda es la contracción de la economía, que es un riesgo empresarial general y, como tal, debe ser asumido en cierta medida por el socio privado. Sin embargo, la disminución de la demanda también puede tener su origen en los servicios en competencia, una oferta nueva competidora (por ejemplo, transporte por autobús), los riesgos de red u otros riesgos más sutiles. Si un servicio en competencia o competidor promovido por la autoridad (o por el Gobierno en general), que no se anunció o no estaba previsto al momento de la licitación, causa una reducción de la demanda en comparación con las proyecciones anteriores, esto generalmente se considera (o debe considerarse) un evento de riesgo retenido. Esta es una situación similar a la que ocurre cuando el Gobierno basa las proyecciones de demanda y la factibilidad financiera del proyecto en la reorganización de la red de autobuses existente. El socio privado recibe el derecho a la compensación si la reorganización se demora o no se implementa oportunamente.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo de ingresos: niveles de tarifas (con respecto a los ingresos de usuario)	En la mayoría de los proyectos ferroviarios urbanos, el socio privado no controla el nivel de las tarifas; por lo tanto, es posible que los aumentos de las tarifas se aparten del IPC, o que la autoridad necesite actualizar la tarifa a un ritmo diferente del convenido originalmente (por ejemplo, mantenerla constante en valores corrientes). Como resultado, el socio privado sufriría el riesgo relacionado con aumentos inferiores a los previstos, y este riesgo debe eliminarse o retenerse para permitir que la autoridad conserve cierta flexibilidad para revisar la política tarifaria. Esto es fundamental cuando el socio privado recibirá pagos basados (parcial o totalmente) en la demanda y retendrá los ingresos tarifarios. Cuando el Gobierno retiene los ingresos tarifarios (y se reembolsa al socio privado completamente a través de pagos por servicio vinculados con el volumen o la disponibilidad), este riesgo es naturalmente asumido por la autoridad pública.	X		Dado que el socio privado no controla el nivel de las tarifas (en la gran mayoría de los proyectos), debe tener derecho a recibir una compensación en la medida en que se vea afectado por los aumentos o actualizaciones de las tarifas inferiores a los previstos. Un enfoque común es definir un valor de referencia para los niveles de las tarifas en el contrato, incluido un perfil determinado de los niveles de tarifa bajo un método de indexación "en la sombra" (por ejemplo, el IPC), a fin de calcular las utilidades perdidas o extra comparando la curva de referencia de la tarifa sombra con la de la tarifa real. Este enfoque conlleva la complejidad (especialmente en los proyectos de transporte) de considerar la elasticidad de la demanda, dado que una actualización de las tarifas inferior a la prevista producirá una pérdida de ingresos, pero esta pérdida podría verse parcialmente corregida por un posible aumento en el uso o la demanda debido al precio más bajo. El principio es que, independientemente de la tarifa real que se fije cada año para el pago que realiza el usuario, el socio del sector privado recibe el mismo monto por usuario. Esto se realiza a través de un mecanismo de liquidación en el que el Gobierno paga la diferencia entre los ingresos reales y los ingresos devengados, que se calcula aplicando la tarifa en la sombra, o bien el Gobierno recibe un pago del socio del sector privado cuando el valor de la tarifa real supera los valores de la curva de tarifa de referencia.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. **Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto** *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo relacionado con los ingresos: riesgos de fraude	El fraude generalmente se refiere al hecho de eludir el pago de forma intencional y puede representar un grave impacto en las finanzas de un proyecto (o en el presupuesto de la autoridad pública cuando esta retiene los ingresos tarifarios) si no se controla debidamente.	X	X	En el supuesto de que se incluya la operación, el socio privado debe quedar expuesto en cierto grado a este riesgo, para verse incentivado a controlarlo o gestionarlo de forma proactiva, independientemente de que el socio privado o la autoridad retenga los ingresos tarifarios. El socio privado es la parte que está en mejores condiciones para gestionar el riesgo, que puede mitigar controlando el acceso y la emisión de boletos. El socio privado tendrá un incentivo natural para reducir el fraude en los proyectos en los que recibe los ingresos aportados por los usuarios, pero incluso en estos casos, tal vez sea conveniente que la autoridad pública comparta los riesgos, especialmente cuando el riesgo es muy alto debido al diseño de los vehículos (por ejemplo, vehículos abiertos). En estos casos, con frecuencia se limita el riesgo para compartirlo en función de un valor de referencia (por ejemplo, el fraude superior al 5 % se compartirá a un nivel del 50 %, y el fraude superior al 10 % se considerará extraordinario y se proporcionará compensación total por encima de ese umbral). Numerosos proyectos de metro y LRT están estructurados en torno a pagos por disponibilidad o calidad. En estos casos, el Gobierno debe incluir la gestión del fraude en los criterios de disponibilidad para incentivar expresamente al socio privado a controlar el fraude.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo relacionado con los ingresos: inflación (con respecto a los pagos por servicio por parte del Gobierno)	En los contratos, se debe estipular claramente cómo se indexarán los pagos para reflejar la inflación en los costos. Por lo general, el socio privado asume el riesgo de que la inflación de costos no sea compensada por la revisión contractual del precio. Si consideramos no solo los ingresos, sino también los costos, la inflación es un riesgo desde dos puntos de vista: la inflación más alta que afecta los costos dará como resultado márgenes de operación más bajos; sin embargo, si se la neutraliza con un mecanismo de indexación de los ingresos, es posible que genere flujos de efectivo nominales más altos disponibles para el servicio de la deuda y los accionistas, e incremente así la tasa de rentabilidad interna del capital en términos nominales. El riesgo de inflación se refiere al riesgo de que el valor de los pagos que recibe el socio privado se vea erosionado por la inflación. Si la inflación no se refleja en los pagos, el valor real de los ingresos se verá considerablemente reducido cuando la inflación sea más alta de lo previsto, lo que podría exacerbarse con la inflación en los costos, que genera un margen de operación más bajo.	X	X	El riesgo de inflación es un riesgo compartido por naturaleza: la autoridad protege al socio privado indexando (en cierta medida) los pagos según el IPC (u otro parámetro de referencia de precios) y, al mismo tiempo, está expuesta a la inflación del precio del servicio. El socio privado asumirá el riesgo de que el mecanismo de indexación establecido en el contrato no proteja eficazmente sus flujos de efectivo. Esto puede deberse a que la inflación en los costos es mayor de lo previsto y, por ende, no se ve neutralizada por el mecanismo de indexación, o simplemente a que el movimiento del IPC (según se haya capturado en la indexación) difiere de lo previsto, lo que también reduce el valor nominal previsto de los flujos de efectivo provenientes de las operaciones. El riesgo de inflación generalmente es asumido por el socio privado, que puede gestionar el riesgo de inflación en los costos transfiriéndolo a los contratistas, fijando o limitando el precio de los trabajos de O&M, o vinculándolo con un índice de inflación correlacionado con el índice aplicado por la autoridad en el contrato de APP. Toda APP debe incluir un conjunto claro de reglas para indexar los pagos y reflejar el movimiento natural de la inflación en los costos y el precio de los servicios. Asumiendo que claramente la indexación según el IPC (u otro parámetro de referencia de precios similar) aporta VpD, cabe preguntarse en qué medida deben vincularse los pagos con la inflación para evitar el exceso de protección contra este riesgo.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. **Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto** *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo relacionado con los ingresos: disponibilidad y calidad	En la mayoría de los proyectos ferroviarios urbanos, los ingresos estarán vinculados, en forma parcial o total, con la disponibilidad o la calidad. Cuando no se cumplen los requisitos de desempeño y los niveles de los objetivos de desempeño, los ingresos se verán lógicamente afectados y la responsabilidad será del socio privado. El incumplimiento de estos requerimientos puede afectar los ingresos directamente (reducción de los pagos) o indirectamente (imposición de penalizaciones o daños y perjuicios).		X	Este riesgo —que es asumido por el socio privado, dado que constituye la esencia de los objetivos de las APP— también se denomina riesgo inherente al desempeño. Los Gobiernos deben analizar el nivel de riesgo que desean transferir. En los países de ingreso bajo y medio, es común que el riesgo se modere considerando una parte del pago como fija (no sujeta a deducciones) o limitando el monto de las deducciones. Los Gobiernos también deben exigir un nivel de desempeño o resultado que sea exigente pero alcanzable.
Ingresos comerciales no tarifarios	El riesgo relacionado con ingresos por publicidad, alquiler de espacios en las estaciones y otras actividades comerciales similares normalmente se transfiere completamente al socio privado.		X	Socio privado. Sin embargo, algunos contratos pueden contemplar la posibilidad de compartir los ingresos secundarios que superen un valor de referencia establecido en la oferta ganadora. Al compartir los ingresos, el Gobierno obtiene un beneficio, y el socio privado, un incentivo para explotar de forma adecuada las actividades comerciales.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgo de ingresos: el Gobierno paga el riesgo de contraparte y los riesgos de asignación	Dado que el pago es la principal obligación del socio público, el Gobierno asume el riesgo relacionado con los ingresos y la asequibilidad. Este análisis sobre la asignación de riesgos se basa en la perspectiva del socio privado (eventos que podrían afectar su posición financiera en relación con riesgos que podrían o no ser compartidos o retenidos por la parte del sector público). Por lo tanto, el riesgo relacionado con los ingresos se refiere a la probabilidad y las posibles consecuencias de la falta de pago de la parte pública.	No se aplica.	No se aplica.	Cada parte asume este riesgo desde su propia perspectiva. El Gobierno asume el riesgo desde la perspectiva de la asequibilidad y la disponibilidad de fondos. En las APP en las que el Gobierno realiza los pagos, el riesgo de incumplimiento por parte de la autoridad es claramente un riesgo del sector privado, inherente a la decisión estratégica de invertir en el mercado de un país determinado o en los proyectos promovidos por una autoridad en particular. El riesgo crediticio es más problemático en las APP subsoberanas. Dado que este riesgo se relaciona con las aprobaciones presupuestarias o con el riesgo de problemas de asequibilidad, la parte pública puede tomar diversas medidas para mitigarlo. En el caso de las regiones metropolitanas de ingreso bajo y medio que celebran APP subsoberanas, especialmente aquellas que incluyen pagos del Gobierno, se considera una buena práctica que el Gobierno central facilite instrumentos de mejora del crédito para garantizar el acceso al mercado de inversionistas (cartas de crédito, garantía del Tesoro o fondos de garantía). El socio privado también tendrá la posibilidad de contratar garantías contra riesgos políticos (por ejemplo, del Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones [MIGA] o de aseguradores privados) y otros mecanismos de bancos multilaterales de desarrollo (BMD), por ejemplo, garantías parciales para cubrir parte de la deuda contraída.
Aumentos de la flota de material rodante	El riesgo relacionado con las inversiones adicionales para satisfacer la mayor demanda puede presentarse en los últimos años del contrato, por lo que no habría tiempo suficiente para amortizar la inversión.	X		Cuando los ingresos tarifarios son retenidos por la autoridad pública o constituyen una parte marginal de los ingresos totales, este riesgo debe ser retenido por dicha autoridad.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. **Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto** *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Costos de mantenimiento y operación	El riesgo vinculado al mantenimiento puede referirse al riesgo de que el mantenimiento inadecuado ocasione un desempeño deficiente, lo que está implícito y cubierto en el análisis del riesgo inherente a la disponibilidad y el desempeño. Este riesgo también se refiere al riesgo de aumento de los costos de la operación y los planes de mantenimiento (lo que incluye el mantenimiento periódico, las renovaciones y las mejoras). En esto se centra el riesgo que se aborda en esta categoría. Este riesgo puede estar correlacionado con el riesgo vinculado al diseño, ya que un diseño inadecuado puede incrementar los costos de mantenimiento, especialmente en el caso de mantenimiento y renovaciones significativas (costos del ciclo de vida), y puede deberse a una planificación y gestión inadecuadas del mantenimiento. Es frecuente considerar algunas excepciones a la regla general de transferencia del riesgo para ciertos riesgos y elementos de costos en proyectos específicos: costos de los servicios públicos (especialmente, energía), costos de las primas de seguros y "riesgo inverso de uso" (es decir, cuando el pago no está vinculado con el volumen, es necesario compensar los riesgos de costos de mantenimiento superiores a los previstos debido a una demanda mayor que la esperada). La adquisición de vehículos nuevos es un caso extremo.		X	Este riesgo se asigna naturalmente al partícipe privado, dado que la obligación de mantenimiento es un elemento básico del alcance de todo contrato de APP. La tecnología obsoleta es otro subconjunto de riesgo que generalmente debe ser asumido por el partícipe privado, salvo que se relacione con un "cambio en la legislación" discriminatorio o específico (regulaciones que podrían disponer mejoras tecnológicas obligatorias), lo que constituye un subconjunto de cambios de legislación. *Algunas excepciones limitadas* En algunos casos, se puede limitar el impacto financiero de los riesgos inherentes al mantenimiento en los socios privados. Por ejemplo, en ciertos contratos se contempla la posibilidad de compartir o limitar la exposición del socio privado al aumento de los costos de la electricidad y, con menos frecuencia, al incremento de los costos del seguro (se limita el riesgo relacionado con aumentos de las primas en un umbral determinado, generalmente, el 100 % de la prima inicial actualizada).

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 9A.2. Asignación de riesgos relacionados con las operaciones del proyecto *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Valor residual y condiciones de reversión	El riesgo de reversión es el riesgo de que sea necesario realizar una inversión antes de la fecha en que vence el contrato para garantizar una extensión razonable de la vida operativa del activo más allá del término del contrato. Cuando el activo se revierte a la autoridad al finalizar el contrato, como ocurre en el caso de la mayoría de las APP, debe estar en las condiciones físicas adecuadas. La autoridad no debe estar expuesta al riesgo de que al activo le quede una vida útil corta, con un valor residual bajo, o de que se encuentre en condiciones técnicas inadecuadas. En el contrato, se deben definir claramente las condiciones técnicas en que debe encontrarse el activo al término del contrato (teniendo en cuenta que algunos activos específicos —por ejemplo, aquellos susceptibles de sufrir una obsolescencia tecnológica rápida— quedarían exceptuados, aunque esto debe establecerse explícitamente en el contrato como parte de los requerimientos o especificaciones de reversión).		X	Este riesgo es asumido por el socio privado; sin embargo, teniendo en cuenta que la devolución se realizará al término del contrato (salvo que se rescinda de forma anticipada, en cuyo caso las disposiciones correspondientes se establecerán específicamente en el contrato), el socio quizás tenga menos incentivos para gestionar el riesgo de valor residual a fin de cumplir con la norma especificada. Los mecanismos para abordar este riesgo se facilitan en el contrato, mediante la incorporación de disposiciones de "reversión", "entrega" o "transición".

Fuente: Datos recopilados por K-Infra, basados en información de dominio público.
Nota: IPC = índice de precios al consumidor; LRT = metro ligero; BMD = banco multilateral de desarrollo; MIGA = Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones; O&M = operación y mantenimiento; APP = asociación público-privada.

CUADRO 9A.3. Asignación de riesgos financieros

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Disponibilidad de financiamiento	Esto representa el riesgo de que no se disponga de financiamiento (especialmente, financiamiento de terceros) al momento del cierre comercial o antes del inicio de la construcción, o de que el financiamiento solo esté disponible en condiciones prohibitivas.		X	Este riesgo está relacionado con una obligación esencial de una APP y, generalmente, debe ser asumido por el socio privado. Sin embargo, el Gobierno debe mitigar el riesgo de forma proactiva mediante la preparación y la evaluación inicial adecuadas y posiblemente (en algunos proyectos en países de ingreso bajo y medio) suministrando respaldo financiero a través de alguno de los mecanismos descritos en el capítulo 10 (financiamiento por subsidio de capital, préstamos públicos, técnicas de eliminación de riesgos y medidas de mejora crediticia).
Costos financieros o tasas de interés	Los cambios en las tasas de interés afectan los costos del proyecto (costos de inversión más altos como resultado de los mayores intereses capitalizados durante la construcción y pagos por servicio de la deuda más elevados).		X	Este riesgo generalmente es asumido por el socio privado y puede mitigarse con mecanismos de cobertura financiera. En algunos casos, la autoridad pública puede asumir total o parcialmente el riesgo de que la tasa de interés base cambie entre el momento de la presentación de la oferta y el momento del cierre financiero.
Riesgo cambiario	El riesgo cambiario generalmente es asumido por el socio privado, en especial cuando se relaciona con el costo de capital o los gastos de operación. Sin embargo, el riesgo específico relacionado con la deuda transfronteriza en moneda fuerte constituye un problema grave y muy específico. La devaluación de la moneda nacional, cuando esta es la moneda de los ingresos del proyecto (pagos efectuados por el Gobierno o los usuarios), incrementa el valor de la deuda y la carga del servicio de la deuda. Por ese motivo, los Gobiernos generalmente asumen (o comparten) los riesgos de devaluación. El riesgo puede asumirse de diferentes formas.	(X)	X	Por lo general, en las APP el riesgo cambiario debe ser asumido por el socio privado. Sin embargo, en algunos países de ingreso bajo y medio, no es posible acceder a financiamiento a largo plazo en moneda nacional y se necesita financiamiento transfronterizo en moneda fuerte. En el contexto de moneda fuerte, el riesgo cambiario relativo al financiamiento transfronterizo o internacional es un problema grave. *Cuándo o en qué medida lo asume o comparte la autoridad pública* En algunos proyectos y países específicos, la autoridad pública asumirá el riesgo cambiario comprometiéndose a realizar una parte de los pagos contractuales en moneda fuerte o proporcionando compensación al socio privado en caso de devaluaciones que superen umbrales determinados.

Nota: APP = asociación público-privada.

CUADRO 9A.4. Asignación de otros riesgos que ocurren durante la vigencia del contrato o inciden en este

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		SECTOR PÚBLICO	SECTOR PRIVADO	
Riesgos no asegurables	Un riesgo originalmente asegurable (al inicio del contrato), y que debe asegurarse en virtud de una disposición incluida en el contrato que así lo exige, puede tornarse no asegurable durante la vigencia del contrato.	X		Salvo que sea específicamente imputable al socio privado, este riesgo no debe ser asumido por dicho socio; en cambio, el contrato debe contemplar la posibilidad de cambiar el requisito específico en materia de seguros o de otorgar una dispensa automática de esa obligación específica.
Cambios en la legislación: generales	Cambios en la legislación general, por ejemplo, leyes laborales y regulaciones comerciales, incluidas las normas contables y tributarias generales.		X	El riesgo relacionado con todo cambio en las leyes o regulaciones que afecte de manera general a cualquier empresa que opere en el país debe ser asumido por el socio privado. *Excepciones limitadas* Algunos países brindan protección o compensación en relación con los cambios en los impuestos al valor agregado.
Cambios en la legislación: cambios específicos y discriminatorios en las leyes	Los cambios discriminatorios en la legislación (que afectan el proyecto específico) y los cambios específicos en la legislación (que afectan solo al sector en el que la empresa del proyecto lleva a cabo su actividad, en este caso el transporte público o, específicamente, los proyectos ferroviarios o de metro) pueden afectar el proyecto al aumentar los costos de inversión o de O&M.	X	(X)	*Cambios discriminatorios* La autoridad otorgante debe retener este riesgo en su totalidad, y debe asumir la responsabilidad de compensar al socio privado por todo cambio discriminatorio en la legislación. *Cambios específicos* El enfoque habitual consiste en compartir el riesgo; sin embargo, siempre se establece un tope para la exposición general del socio privado, a fin de que el riesgo sea cuantificable. Por ejemplo, el primer X % del impacto del riesgo de un acontecimiento puede ser asumido por el socio privado. Más allá de ese umbral, se puede establecer en el contrato que cada una de las partes asumirá el 50 % del impacto hasta el límite máximo del riesgo, que puede definirse como un porcentaje de la desviación de costos. Asimismo, es común estipular un tope general, como la suma del impacto de todos los acontecimientos posibles, que se puede establecer como un porcentaje de la inversión original o como una cifra en valor absoluto.

(El cuadro continúa en la página siguiente).

CUADRO 9A.4. Asignación de otros riesgos que ocurren durante la vigencia del contrato o inciden en este *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		PÚBLICO	PRIVADO	
Cambios en los servicios: alcance del trabajo o necesidad financiera	Una autoridad debe tener la capacidad de solicitar o exigir cambios en el alcance de los servicios o las obras (dentro de los límites jurídicos establecidos en la legislación respectiva); sin embargo, esto puede afectar financieramente al socio privado en tanto y en cuanto el cambio suponga nuevas inversiones o requisitos de desempeño más onerosos.	X		Independientemente de los posibles límites establecidos en las regulaciones de contratación de algunos países, los cambios en el diseño o el alcance de las obras y los cambios en los requisitos de servicio siempre constituyen un riesgo que debe asignarse claramente al socio público. Con respecto a esta área de riesgo, en el contrato no solo debe estipularse a qué parte se asigna el riesgo, sino que también deben incluirse disposiciones claras y transparentes sobre la forma en que se abordará el proceso en caso de que ocurra un cambio, incluyendo la manera en que se definirá el precio o costo y cómo se implantará o se hará efectiva la compensación.
Vandalismo	El vandalismo se refiere al riesgo de actos deliberados contra el activo o partes del activo.		X	Por lo general, el vandalismo es un riesgo que se asigna al socio privado, dado que es el propietario económico del activo y el primer responsable de proteger las condiciones físicas y operativas de este. *Algunas excepciones limitadas* En algunos proyectos específicos, este riesgo se comparte. Este enfoque puede ser acertado cuando las probabilidades y las consecuencias de los actos de vandalismo son altas y la protección de los activos podría resultar difícil o costosa.

(El cuadro continúa en la página siguiente).

CUADRO 9A.4. Asignación de otros riesgos que ocurren durante la vigencia del contrato o inciden en este *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		PÚBLICO	PRIVADO	
Rescisión anticipada por incumplimiento: en relación con la bancabilidad	El riesgo de rescisión anticipada, desde la perspectiva del socio privado, se refiere al riesgo de que el monto de la compensación que ha de pagarse al momento de la rescisión anticipada no sea suficiente para cumplir con sus obligaciones financieras. Este riesgo (como lo percibe el socio privado) es relevante para la autoridad en términos de factibilidad comercial, ya que un método de compensación por terminación que se percibe como injusto o desequilibrado, o que es ambiguo o difícil de evaluar, puede ocasionar que se pierdan ofertas, o incluso generar una situación en la que no se presente ninguna.		X	Técnicamente, este riesgo es asumido por el socio privado. *Excepciones limitadas o matices* Las autoridades públicas deben mitigar este riesgo, como mínimo, definiendo objetivamente las causas vinculadas con cada tipo de terminación de contrato y el cálculo de la compensación relacionada, mediante reglas claras e incluyendo posiblemente (en países de ingreso bajo y medio) cierta protección para los prestamistas, incluso en el caso de rescisión por incumplimiento del socio privado (el "apuntalamiento de la deuda" o la garantía de que se pagará un determinado porcentaje de esta, como mínimo, a los prestamistas en caso de terminación anticipada).
Fuerza mayor	El término "fuerza mayor" puede tener diferentes significados en distintas jurisdicciones e incluso puede ser un término definido jurídicamente de aplicación directa a los contratos de APP (especialmente en los países regidos por un código civil donde el corpus administrativo y jurídico regula la contratación pública). El concepto de fuerza mayor generalmente abarca los "casos fortuitos", incluidos los desastres naturales u otros acontecimientos naturales con un posible impacto extraordinario, como huracanes, terremotos, tormentas, etc., que no pueden ser controlados por ninguna de las partes y que deben compartirse (y definirse específicamente como tales, si es posible, en el contrato).	X	X	Técnicamente, estos son riesgos compartidos, ya que en el contrato se exigirá al socio privado que contrate ciertas pólizas de seguro, que generalmente cubrirán algunos eventos que posiblemente se consideren acontecimientos de fuerza mayor. Las primeras pérdidas en tales eventos serán asumidas por el socio privado, quien a su vez (y según se estipule en el contrato) será compensado mediante la indemnización reclamada en virtud de la póliza de seguro. El riesgo de que la indemnización sea accesible es asumido por el socio privado, salvo que se haya convertido en un riesgo no asegurable a lo largo del contrato (véase la sección sobre "riesgos no asegurables").

(El cuadro continúa en la página siguiente).

CUADRO 9A.4. Asignación de otros riesgos que ocurren durante la vigencia del contrato o inciden en este *(Continuación)*

RIESGO	DESCRIPCIÓN	ASIGNACIÓN		COMENTARIOS
		PÚBLICO	PRIVADO	
	También abarca ciertos acontecimientos políticos con efectos poco probables, pero de consecuencias no evaluables, como guerras, actos de terrorismo, contaminación nuclear, etc., que no pueden ser controlados por ninguna de las partes. En algunos países o contratos específicos, el concepto de fuerza mayor también puede incluir daños dolosos (y, excepcionalmente, huelgas o disturbios)[b]. Los acontecimientos de fuerza mayor causan la incapacidad de prestar los servicios (y, por ende, no deben incluirse entre las causales de incumplimiento contractual) y generan la necesidad de realizar inversiones adicionales, lo que posiblemente dé derecho a cualquiera de las partes a rescindir el contrato.			Los riesgos de fuerza mayor no deben tratarse solo en términos de compensación (definiendo quién afrontará las pérdidas y cuándo); en el contrato también debe definirse cómo se abordará el riesgo de que el servicio no esté disponible durante un período determinado debido a un acontecimiento de fuerza mayor, y debe incluirse una disposición que permita que cualquiera de las partes renuncie al contrato y solicite la rescisión anticipada (en cuyo caso, el impacto financiero debe ser neutral, y el socio privado solo debe estar expuesto a la posible pérdida de los costos de oportunidad). En el contrato se debe indicar claramente el monto de la compensación por rescisión que se aplicará en el caso de que el contrato se rescinda debido a un acontecimiento de fuerza mayor. Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta al considerar un evento de fuerza mayor, y que también se aplica a la mayoría de los eventos compensables definidos en el contrato, es que el evento no debe generar una protección indebida si el socio privado no se comporta según lo previsto. En el contrato debe establecerse claramente que el socio privado, en su calidad de propietario económico del activo, debe actuar con la diligencia debida para evitar el riesgo y mitigar sus consecuencias.

Fuente: Datos recopilados por K-Infra, basados en información de dominio público.
Nota: O&M = operación y mantenimiento; APP = asociación público-privada.
a. El Centro de Recursos para Asociaciones Público-Privadas en Infraestructura ofrece una interesante descripción de diversos enfoques para definir los acontecimientos de fuerza mayor y recomendaciones para incorporar el concepto en el contrato de APP. Véase http://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/ppp-overview/practical-tools/checklists-and-risk-matrices/force-majeure-checklist. Véase también EPEC (2012b), donde se describe el enfoque en algunos países de Europa.
b. Cuando las huelgas no son huelgas generales, sino que solo afectan el proyecto específico, el riesgo habitualmente es asumido por el socio privado.

CUADRO 9A.5. Asignación de riesgos en asociaciones público-privadas recientes de transporte ferroviario urbano en América Latina

TIPO DE CONTRATO	TIPO DE RIESGO	RESPONSABILIDAD		
		SECTOR PÚBLICO	COMPARTIDA	SECTOR PRIVADO
Contrato de EPC para la obra civil + concesión de EOT con transferencia parcial del riesgo de demanda (línea 4 de São Paulo)	Construcción	X El Gobierno compensa al concesionario por las demoras, pero se protege a través del contrato de EPC a precio fijo y de plazo cerrado		
	Geológico	X		
	Demanda		Sistema de bandas: +/-10 %-20 % +/- 20 %-40 %	El sector privado asume parcialmente el riesgo de demanda (+/-10 % respecto del caso base o de referencia).
	Cambiario		X	
	Ambiental	El Gobierno obtiene la licencia ambiental.		El sector privado es responsable de la gestión ambiental.
	Legal			X
	Interferencia con los servicios públicos	X		
	Hallazgo arqueológico	X		
	Reasentamiento	X		

(El cuadro continúa en la página siguiente).

CUADRO 9A.5. Asignación de riesgos en asociaciones público-privadas recientes de transporte ferroviario urbano en América Latina *(Continuación)*

TIPO DE CONTRATO	TIPO DE RIESGO	RESPONSABILIDAD		
		SECTOR PÚBLICO	COMPARTIDA	SECTOR PRIVADO
APP de integración vertical con transferencia parcial de los riesgos geológico y de demanda (líneas 6 y 18 de São Paulo)	Construcción			X
	Geológico	Desconocido hasta BRL 40 millones	Desconocido > BRL 40 millones: renegociación	Conocido + desconocido ≤ BRL 40 millones
	Demanda		> 140 %: renegociación; 115 %-140 %: compartido al alza; 60 %-85 %: compartido a la baja; < 60 %: renegociación	85 %-115 % de la demanda prevista
	Cambiario			X
	Ambiental	Emite la licencia ambiental		X (las obligaciones ambientales desconocidas, no contempladas en la licencia, pueden dar lugar a una renegociación).
	Legal			X
APP de integración vertical sin transferencia de riesgo de demanda (líneas 2 y 4 del metro de Lima)	Construcción			X
	Geológico	X		
	Demanda	X		
	Cambiario			X
	Ambiental	X (licencia y obligaciones preexistentes)		X (regulaciones)
	Legal	X		
	Interferencia con servicios públicos	X		
	Hallazgo arqueológico	X		
	Reasentamiento	X		

Nota: EPC = ingeniería, adquisición y construcción; EOT = equipamiento, operación y transferencia; APP = asociación público-privada.

Notas

Los autores desean agradecer a Miguel Soriano, del Banco Mundial, y a Andrés Rebollo, de K-Infra, por sus aportes de contenido, y a los revisores Ramiro Alberto Ríos, Joanna Moody, Martha Lawrence y Navaid Qureshi, del Banco Mundial, e Yves Amsler y Dionisio González, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por compartir sus conocimientos especializados y sus críticas constructivas durante la elaboración de este capítulo.

1. En una APP de financiamiento privado sin cofinanciamiento público, no se realizarían pagos durante la construcción, pero los pagos durante el período de operación serían mayores y cubrirían los gastos de O&M y la remuneración de la inversión de capital privado (servicio de la deuda proyectado y dividendos para los inversionistas en capital social).
2. Para obtener un ejemplo de un informe de un análisis de VpD de un proyecto de metro ligero en Canadá, véase KPMG (2016).
3. Hasta hace muy poco tiempo, las APP basadas en la contratación agrupada se habían utilizado para desarrollar proyectos más simples, por ejemplo, proyectos de metro ligero o tranvías a nivel o elevados que no incluían obras de construcción subterránea. Sin embargo, esta tendencia está cambiando, ya que algunos proyectos importantes de transporte ferroviario urbano actualmente se están llevando a cabo en el marco de APP basadas en la contratación agrupada. Los proyectos de la línea 6 de São Paulo y la línea 2 de Lima, en América Latina, y el proyecto del metro de Hyderabad, en India, se están ejecutando a través de contratos únicos de APP que abarcan todos los componentes de los proyectos.
4. Los plazos mínimos o máximos de los contratos pueden estar definidos en las directrices de políticas generales de APP o, principalmente en los países regidos por un código civil, en marcos legales específicos de APP.
5. Es posible que algunos Gobiernos decidan financiar directamente todas las obras en el marco de un contrato separado y que limiten el alcance del contrato de APP a la operación, generalmente con inclusión de la provisión y el mantenimiento del material rodante (contratos de EOT).
6. Esta situación generalmente se presenta solo en contratos de proyectos que no requieren un uso intensivo de capital (solo de operación) o en contratos con algunas operaciones y material rodante (EOT) y una sólida generación de ingresos.
7. Además, es posible incluir en el mecanismo pruebas periódicas de valor o de mercado de ciertos servicios provistos por la empresa constructora. Las pruebas de valor se refieren a una comparación en la que la empresa privada coteja sus costos por la provisión de ciertos servicios con el precio de mercado de los servicios. En los test de mercado, el socio debe volver a licitar un servicio a fin de obtener el precio real de mercado de dicho servicio. Luego del test, todo aumento o reducción deberá reflejarse en el precio que se cobra a la autoridad.

Bibliografía

Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco Islámico de Desarrollo (IsDB), Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada (PPIAF) y Banco Mundial (2016), *Guía de la Certificación en Asociaciones Público-Privadas*, Washington, DC: Banco Mundial, https://ppp-certification.com/ppp-certification-guide/about-ppp-guide

Anderson, Richard J., Nicholas S. Findlay y Daniel J. Graham (2012), "Improving Fares and Funding Policies to Support Sustainable Metros", articulo presentado en la 91.ª Reunión Anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, Washington, DC, 22 al 26 de enero.

Centro Europeo de Asesoramiento sobre las Asociaciones Público-Privadas (EPEC) (2012a), *The Guide to Guidance: How to Prepare, Procure, and Deliver PPP Projects*, Luxemburgo: Banco Europeo de Inversiones, http://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sites/ppp.worldbank.org/files/documents/EPEC_Guide%20to%20Guidance_EN.pdf

———.(2012b), *Termination and Force Majeure Provisions in PPP Contracts: Review of Current European Practice and Guidance*, informe producido por Allen & Overy para EPEC, Luxemburgo.

Ministerio de Hacienda del Reino Unido (2013), *Green Book: Appraisal and Evaluation in Central Government*, Londres: Ministerio de Hacienda del Reino Unido, https://www.gov.uk/government/publications/the-green-book-appraisal-and-evaluation-in-central-govenent.

KPMG (2016), *Valley Line LRT—Stage 1: Value for Money Report—City of Edmonton*, KPMG, Amsterdam, 7 de abril, https://www.edmonton.ca/documents/RoadsTraffic/ValleyLine-ValueForMoneyReportApril%202016.pdf

Mandri-Perrott, Cledan y Iain Menzies (2010), *Private Sector Participation in Light Rail–Light Metro Transit Initiatives*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2416

Menzies, Iain y Cledan Mandri-Perrott (2010), "Private Sector Participation in Urban Rail: Getting the Structure Right", en *Gridlines* 54, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/10499.

Phang, Sock-Yong (2007), "Urban Rail Transit PPPs: Survey and Risk Assessment of Recent Strategies", en *Transport Policy* 14 (3): 214-31.

Pulido, Daniel y Fabio Hirschhorn (2015), *Private Participation in Urban Rail: A Resurgence of Public-Private Partnerships*, en *Transport and ICT Connections* 11, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22305.

Rebelo, Jorge M. (1999), "Rail and Subway Concessions in Rio de Janeiro", en *Viewpoint: Public Policy for the Private Sector Note 183*, Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11486.

———. (2004), *The Buenos Aires Suburban Railways and Subway Concessions: Lessons Learned*, Banco Mundial, Washington, DC.

Oficina Nacional de Auditoría del Reino Unido (2017), *What Is a Value for Money Study?*, Oficina Nacional de Auditoría, Londres, https://www.nao.org.uk/about-us/wp-content/uploads/sites/12/2016/10/What-is-a-value-for-money-study.pdf.

Banco Mundial (2015), *Lessons Learned of PPPs in Metros: The Cases of Lima and São Paulo*, solo para uso interno, Banco Mundial, Washington, DC.

———. (2017), *Private Participation in Infrastructure (PPI)* (base de datos), Washington, DC: Banco Mundial, https://ppi.worldbank.org/

Lecturas adicionales

Darido, Georges, Daniel Pulido, Felipe Targa, Bernardo Alvim y Tatiana Peralta-Quirós: véase https://www.linkedin.com/in/tatiana-peralta-quir%C3%B3s-9781b315/ 2015, "Lima Urban Transport: On the Way to Transformation", en *Transport and ICT Connections* 22, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25004.

Soliño, Antonio Sánchez y José M. Vassallo (2009), "Using Public-Private Partnerships to Expand Subways: Madrid-Barajas International Airport Case Study", en *Journal of Management in Engineering* 25 (1): 21-28.

Banco Mundial (2004), A *Tale of Three Cities: Urban Rail Concessions in Bangkok, Kuala Lumpur, and Manila*, informe de Halcrow Group Limited, Washington, DC: Banco Mundial, https://library.pppknowledgelab.org/documents/2343/download

Contemplation
Appetite
新都城中心
6:55

10 MAXIMIZACIÓN DE LOS FONDOS Y EL FINANCIAMIENTO

Daniel Pulido y Cledan Mandri-Perrott

Se estima que el déficit actual de la inversión en infraestructura a nivel mundial asciende a USD 1 billón por año, y se prevé que aumente en las próximas dos décadas (Maier, 2015). Para solucionar este déficit, los Gobiernos deberán hacer un mejor uso de los recursos públicos y movilizar capital privado procedente de fuentes tradicionales y nuevas.

Los proyectos ferroviarios urbanos generan enormes beneficios para los habitantes de las ciudades, pero son costosos. En los países de ingreso bajo y medio, estos proyectos generalmente constituyen las mayores inversiones en infraestructura que realizan los Gobiernos. Obtener fondos para pagar proyectos de esta magnitud puede ser una tarea difícil y onerosa. La imposibilidad de movilizar fondos (y financiamiento) suficientes es una de las razones por las que numerosos proyectos ferroviarios urbanos no logran avanzar más allá de la planificación inicial. La voluntad y la capacidad del Gobierno y de los usuarios de comprometer fondos para el transporte masivo determinan, en última instancia, la capacidad de un país de invertir en nuevos proyectos ferroviarios urbanos.

Fotografía: Espacio comercial activo en la estación Po Lam, sistema ferroviario metropolitano (MTR) de la Región Administrativa Especial de Hong Kong (China), 2009. *Fuente:* Lip Jin Lee a través de Flickr (CC BY-NC 2.0).

Los Gobiernos de los países de ingreso bajo y medio recurren cada vez más a las asociaciones público-privadas (APP) para ejecutar proyectos de infraestructura de gran magnitud con financiamiento del sector privado. Para movilizar recursos privados de manera eficaz en función de los costos, se necesita un importante esfuerzo inicial para diseñar una estructura de financiamiento que permita mitigar los riesgos principales y aprovechar diferentes fuentes de capital según su adecuación para financiar los distintos componentes del proyecto.

En este capítulo se explica la diferencia entre fondeo y financiamiento, se indica a quién pueden recurrir los organismos de ejecución de proyectos para obtener los fondos y el financiamiento necesarios para elaborar los proyectos, y se analiza la adecuación de diferentes instrumentos de financiamiento. También se brinda información útil que deberá considerarse para lograr que los proyectos ferroviarios urbanos estén en condiciones de recibir financiamiento (es decir, que permitan obtener el financiamiento a largo plazo necesario para su desarrollo). Si bien el tema del fondeo y el financiamiento se explica independientemente del método de ejecución de proyectos (adquisiciones públicas o APP), este capítulo se enfoca en las dificultades relacionadas con la movilización de financiamiento privado, uno de los objetivos de establecer una APP con financiamiento privado (según se define en el capítulo 8). Por último, se ofrecen recomendaciones para elaborar un plan de financiamiento adecuado.

Fondeo versus financiamiento

A la hora de desarrollar un proyecto ferroviario urbano (o cualquier otro proyecto de infraestructura), resulta fundamental comprender la diferencia entre "fondos" y "financiamiento", y evitar caer en la trampa de centrarse solo en este último. El término "fondos" hace referencia a quienes pagan por el aumento de accesibilidad generado por un sistema ferroviario urbano (es decir, los contribuyentes y usuarios), mientras que "financiamiento" hace referencia a quienes aportan el capital para proveer la infraestructura necesaria para desarrollar el sistema desde un comienzo. Desde otro punto de vista, el "financiamiento" es el dinero que se necesita inicialmente para afrontar los costos de construcción o elaboración del proyecto, mientas que el "fondeo" constituye el flujo de ingresos a largo plazo que se utiliza para cubrir las obligaciones de pago, incluido el servicio de la deuda (BAsD y otros, 2016).

En un proyecto ejecutado a través de modelos tradicionales de adquisiciones públicas, el Gobierno financia las obras de infraestructura mediante pagos directos a los contratistas durante la construcción. Estos pagos se efectúan

principalmente con fondos procedentes de impuestos y otras fuentes de ingresos públicos, que también pueden utilizarse para obtener préstamos o respaldar bonos en caso de que se necesite financiamiento adicional.

En una APP con financiamiento privado, el sector privado (prestamistas comerciales e inversionistas en capital social) financia una parte del proyecto, y los fondos para reembolsar dicho financiamiento proceden de los ingresos tarifarios, ingresos secundarios e incluso a veces de ingresos derivados de proyectos de desarrollo inmobiliario (explotados directamente por el socio privado de acuerdo con las condiciones de la APP o por el sector público), o bien, del presupuesto público (es decir, pagos por disponibilidad o basados en los resultados).

Independientemente del método de ejecución o la fuente de financiamiento (pública o privada), el fondeo es indispensable para que se concrete un proyecto. El nivel y la estabilidad de los fondos de un proyecto también influyen considerablemente en la disponibilidad de financiamiento, en especial en los proyectos financiados por el sector privado. Por lo tanto, el financiamiento por sí solo no puede resolver un problema de fondos; se necesitan fuentes confiables de fondos para que la emisión de deuda esté dentro de niveles sostenibles y para garantizar la viabilidad financiera a largo plazo del sistema.

En efecto, la sostenibilidad de las operaciones del transporte ferroviario urbano también depende de contar con fondos confiables y suficientes. Las autoridades públicas que consideran la posibilidad de desarrollar sistemas de transporte público de alta capacidad deben realizar una importante labor inicial a fin de garantizar que contarán con fondos suficientes para reembolsar los préstamos obtenidos de entidades de financiamiento o compensar al socio privado (en el marco de una APP) por los servicios de operación y mantenimiento (O&M) y por su parte de la inversión. La búsqueda de fuentes adicionales de fondos es fundamental en vista de la gran magnitud de los proyectos ferroviarios urbanos en relación con los presupuestos de los países de ingreso bajo y medio y la limitada capacidad del sector para cubrir los costos con las tarifas impuestas a los usuarios.

Independientemente del tipo de financiamiento, las fuentes de fondos son siempre las mismas: el presupuesto público, los ingresos tarifarios, los ingresos comerciales no tarifarios (por ejemplo, publicidad, venta de artículos de promoción y alquiler de espacios comerciales), y la captura del valor del suelo (CVS) derivada del desarrollo o los impuestos. En algunas jurisdicciones, también pueden aplicarse otros cargos a los usuarios o impuestos específicos, aunque esto es menos habitual. En el cuadro 10.1, se resumen las fuentes de fondos y financiamiento, que se describen en mayor detalle en las secciones siguientes de este capítulo.

CUADRO 10.1. Fuentes de fondos y financiamiento para proyectos ferroviarios urbanos

FONDEO		FINANCIAMIENTO	
TIPO	**FUENTE**	**TIPO**	**FUENTE**
Ingresos públicos	• Impuestos generales	Financiamiento público	• Bancos multilaterales de desarrollo
	• Transferencias intragubernamentales		• Instituciones de desarrollo bilaterales
Ingresos por usuario	• Ingresos tarifarios		• Deuda pública o municipal
Ingresos comerciales	• Publicidad		• Exenciones de impuestos
	• Alquiler de espacios comerciales		• Valores respaldados por el Gobierno
	• Derechos de denominación	Financiamiento privado	• Bancos
	• Venta de artículos de promoción		• Inversionistas en capital social
Ingresos de CVS	• Basada en el desarrollo		• Mercados de capital
	• Basada en impuestos		• Proveedores de equipos
Otros ingresos	• Cargos impuestos a los usuarios		
	• Impuestos especiales sobre las ventas o la nómina		

Nota: CVS = captura del valor del suelo.

El financiamiento de nuevos proyectos ferroviarios urbanos debe formar parte de una estrategia general para financiar el transporte urbano, que también incluya otras modalidades que sirvan como alimentadores para las líneas ferroviarias. En Ardila-Gómez y Ortegón-Sánchez (2016) se presenta un marco analítico para evaluar y determinar el financiamiento para el transporte urbano en función del concepto de "quien se beneficia paga".

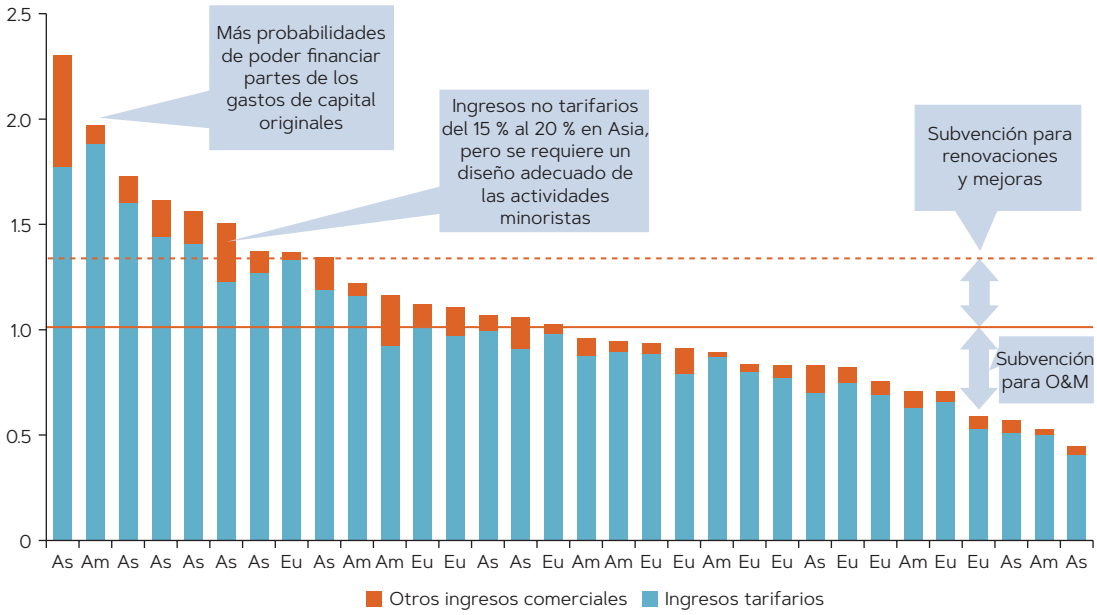
Fuentes de fondos

La mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos del mundo no puede cubrir los costos de operación con los ingresos tarifarios, y mucho menos los gastos de capital. Con información correspondiente a 15 años procedente de 26 sistemas de metro de todo el mundo (principalmente, de países de ingreso alto), los programas internacionales de establecimiento de parámetros comparativos CoMET y Nova han demostrado que, en promedio, los metros solo cubren el 89 % de los gastos operacionales a partir de los ingresos comerciales (ingresos secundarios

y tarifarios) y gastan alrededor del 54 % por encima de sus gastos de operación en programas de renovación de capital, sin contar las ampliaciones (Anderson, Findlay y Graham, 2012). Esto significa que las empresas de metros necesitarían casi el doble de ingresos comerciales para cubrir los gastos operacionales y las necesidades de renovación de activos. Si bien estos datos pueden variar según el período analizado y el número y las características de los metros incluidos en la muestra, hay algo que está claro: el financiamiento para todos los proyectos de expansión y las renovaciones de capital proviene de los presupuestos públicos (véase el gráfico 10.1). Cuando los recursos financieros públicos son limitados, los organismos de ejecución de proyectos se enfrentan a restricciones de fondos que pueden traducirse en un alcance poco adecuado del proyecto y un déficit de fondeo.

Un déficit de fondeo, que se produce cuando los ingresos del sistema ferroviario urbano no son suficientes para pagar los costos de operación y las inversiones en mejoras de capital, supone un serio obstáculo a la hora de mantener la calidad del servicio y abordar las crecientes necesidades de movilidad urbana. Sin embargo, subsanar el déficit no es una tarea fácil cuando los presupuestos

GRÁFICO 10.1. Proporciones de ingresos tarifarios en sistemas ferroviarios urbanos de todo el mundo



Fuente: Banco Mundial y RTSC (2017).
Nota: Am = América; As = Asia; EU = Europa; O&M = Operación y mantenimiento.

públicos están sometidos a una presión creciente y las soluciones más directas para aumentar los ingresos (es decir, elevar las tarifas o aplicar cargos por congestión) son difíciles de implementar por motivos políticos. La situación es peor en los países de ingreso bajo y medio, donde la experiencia en materia de trasporte público de alta capacidad es escasa, las necesidades de inversión de capital son aún mayores que en los países de ingreso alto, y los ingresos tarifarios son exiguos debido a la escala limitada y la calidad deficiente de los sistemas de transporte urbano. El déficit de fondeo en estas ciudades se ve acentuado por las subvenciones implícitas al uso de automóviles particulares, que representan solo una porción menor del total de viajes, pero generan costos muy elevados para la sociedad en términos de congestión, contaminación del aire y accidentes (Ardila-Gómez y Ortegón-Sánchez, 2016).

En esta sección se describen las fuentes de fondos disponibles para proyectos ferroviarios urbanos, entre las que se incluyen las subvenciones públicas, los ingresos tarifarios y las fuentes alternativas. Entre las fuentes alternativas de ingresos, se cuentan los ingresos comerciales no tarifarios o ingresos secundarios, la CVS, los impuestos específicos y los cargos impuestos a los usuarios. Prever el uso de fuentes alternativas de ingresos en las primeras etapas del elaboración del proyecto puede dar más tiempo a los organismos de ejecución del proyecto para incorporarlas en el modelo de negocios, subsanar el déficit de fondeo para aprovechar al máximo el financiamiento o garantizar una cobertura más adecuada de los costos de O&M (y de mantenimiento del capital).

Ingresos públicos

Históricamente, la mayor parte de los fondos para los proyectos de infraestructura de gran magnitud ha provenido de los presupuestos públicos nacionales y locales, y el caso del transporte ferroviario urbano no es la excepción. En los modelos de adquisiciones tradicionales, los ingresos tributarios y los empréstitos del Gobierno se utilizan para pagar las obras de construcción, reembolsar los préstamos tomados por los organismos de ejecución de proyectos o subsidiar a los operadores de servicios públicos.

Por lo general, la fuente de ingresos para los fondos públicos destinados a los proyectos ferroviarios urbanos procede de algún tipo de impuesto recaudado por el Gobierno nacional (como los impuestos sobre la renta) o por los Gobiernos locales (como los impuestos inmobiliarios). Estos impuestos son de índole general y difieren de otros instrumentos tributarios específicos que pueden aplicarse a los beneficiarios directos o indirectos de los proyectos ferroviarios urbanos. Los fondos públicos que dependen de los presupuestos anuales del Gobierno están sujetos al riesgo de asignación y, por ende, no son previsibles ni estables de un año a otro. Para que los fondos procedentes de fuentes públicas resulten confiables, se necesitan mecanismos presupuestarios plurianuales (véase el capítulo 12).

En las APP, los presupuestos públicos se utilizan para efectuar pagos a los socios privados durante el período de operación, en compensación por la prestación de servicios de transporte ferroviario urbano. Los socios privados, a su vez, obtienen financiamiento garantizado con estos pagos. Cuando reciben pagos del Gobierno, los socios privados y las entidades de financiamiento están expuestos a los riesgos conexos de crédito y liquidez. Los mecanismos de pago en las estructuras de APP se analizan en detalle en el capítulo 9.

Ingresos tarifarios

Los ingresos tarifarios son una fuente esencial de fondos para los sistemas ferroviarios urbanos. Sin embargo, rara vez son suficientes para cubrir siquiera los costos de O&M. En promedio, el cobro de tarifas a los usuarios cubre solo alrededor del 75 % de los costos de operación de los sistemas de metro a nivel mundial[1] (Pulido y Portabales, 2015). Algunos sistemas de metro logran recuperar sus costos de operación, por ejemplo, los de Santiago (Chile) y de la Región Administrativa Especial de Hong Kong; sin embargo, otros sistemas, como el metro de la Ciudad de México, solo cubren la mitad de los gastos de operación con los ingresos tarifarios. Según los operadores del transporte ferroviario urbano, las estrategias más eficaces para aumentar los ingresos tarifarios que están bajo su control incluyen 1) los servicios de autobuses alimentadores integrados con el servicio de transporte ferroviario urbano; 2) la integración tarifaria, la ampliación de la cantidad de estaciones, y las mejoras que facilitan el acceso a nuevos generadores de demanda; 3) tarifas para grupos específicos, y 4) los servicios dirigidos a abrir nuevos mercados, por ejemplo, las mejoras en la frecuencia del servicio fuera de las horas pico (CoMET y Nova, 2015).

Los ingresos tarifarios de los usuarios dependen, en parte, del número de pasajeros. Por lo tanto, estos ingresos se basan en factores que están fuera del control de los organismos de ejecución de proyectos y de los operadores, por ejemplo, los cambios demográficos, el crecimiento económico y los niveles de empleo. Otros factores que impulsan la demanda están bajo el control de los Gobiernos, pero no suelen estar bien integrados en la planificación y la gestión del transporte urbano, por ejemplo, la política de uso del suelo, la determinación de precios del transporte urbano y las regulaciones gubernamentales (véase el capítulo 3). De todos, la integración eficaz en términos físicos y de tarifas entre diferentes modos de transporte es el factor más importante para aumentar la demanda y maximizar los ingresos tarifarios. Para esta integración posiblemente se necesite un marco institucional con una autoridad de transporte que asuma la responsabilidad de coordinar los servicios y que distribuya los ingresos tarifarios entre los diferentes operadores (públicos o privados) (véase el capítulo 12).

Además de la demanda, la política tarifaria —incluido el nivel al que se fija la tarifa y el mecanismo mediante el cual se ajusta— es un factor esencial para

garantizar la obtención de fondos suficientes a partir de los ingresos tarifarios. La mayoría de las tarifas del transporte ferroviario urbano se fijan por debajo del costo de prestación del servicio (por debajo de los gastos de operación y las necesidades de renovación de capital), lo que se traduce en la insuficiencia de fondos. Los objetivos de esta decisión generalmente son mantener la asequibilidad de las tarifas y promover la demanda. Sin embargo, al mantener las tarifas bajas, posiblemente no se disponga de fondos para invertir en mejoras de la capacidad y del nivel del servicio, aspectos que podrían tener un efecto más positivo en la demanda y los ingresos tarifarios que el hecho de mantener dichas tarifas bajas (Brage-Ardao, Graham y Anderson, 2015). Además, cuando los niveles de las tarifas no se ajustan con frecuencia para equipararse con el aumento de los costos del servicio (principalmente, los costos de mano de obra y electricidad), disminuyen en términos reales y, en definitiva, generan mayores déficits que deben subsanarse con aumentos extraordinarios que son más costosos desde el punto de vista político. Las autoridades públicas deben definir tempranamente una estructura tarifaria y mecanismos de ajuste que promuevan la sostenibilidad financiera (véase el capítulo 12). La fijación y el ajuste de las tarifas se tornan más difíciles una vez que el sistema está en funcionamiento, especialmente si las tarifas no se revisan con frecuencia.

Con respecto a la estructura tarifaria, las investigaciones han mostrado que los sistemas ferroviarios urbanos con una estructura tarifaria que incluye diferentes precios según la hora del día (en horas pico y fuera de estas) y la distancia tienen más probabilidades de cubrir los costos con los ingresos tarifarios. Si bien las estructuras tarifarias segmentadas pueden resultar más difíciles de comprender para los pasajeros y quizás incrementen los costos de transporte de quienes recorren distancias más grandes (generalmente, los usuarios de menores ingresos en las ciudades de países en desarrollo), estos dos problemas pueden abordarse mediante tecnologías de tarjetas inteligentes y subvenciones específicas a la demanda (véase el capítulo 2).

Ingresos comerciales no tarifarios

Dado que los ingresos tarifarios no son suficientes para cubrir los costos de operación y de capital, algunos sistemas ferroviarios urbanos del mundo complementan su percepción de fondos con ingresos secundarios o comerciales no tarifarios. En algunos sistemas ferroviarios urbanos, estas fuentes alternativas de ingresos se han vuelto importantes e incluso se aproximan al 20 % de los ingresos tarifarios. La actividad comercial de los sistemas ferroviarios urbanos está concentrada en las economías de ingreso alto, y muchos de los sistemas más lucrativos se encuentran en Asia. Sin embargo, los sistemas de los países de ingreso bajo y medio buscan, cada vez más, formas de aumentar los ingresos no tarifarios, a menudo en colaboración con el sector privado.

El objetivo de maximizar los ingresos procedentes de las actividades comerciales debe integrarse en la planificación del proyecto desde el comienzo, independientemente del modelo de ejecución que se aplique. La explotación de fuentes de ingresos adicionales debe incorporarse desde el inicio del mandato y el modelo de negocios del posible operador del sistema, ya sea del sector público o privado[2] (véase el capítulo 12).

Las fuentes más comunes de ingresos comerciales no tarifarios incluyen la publicidad, el alquiler de espacios comerciales, los derechos de denominación y la venta de artículos de promoción comercial.

Publicidad

La alta densidad de pasajeros y el servicio frecuente brindan la oportunidad de cautivar al público a través de mensajes publicitarios bien ubicados en los vehículos o las estaciones (véase la imagen 10.1). En 2016, el metro de Madrid implementó un innovador sistema de publicidad dinámica en un túnel de un tramo de

IMAGEN 10.1. Publicidad en el andén de la estación de metro de Gloucester, Londres, 2012

Fuente: Brent Flanders a través de Flickr Commons.

la línea 8 que, según se prevé, generará nuevos ingresos por un valor aproximado de EUR 200 000 al año. Dado que esta cifra corresponde solo a un tramo de una de las líneas, el potencial de movilización de ingresos de este sistema para toda la red es considerable.

Alquiler de espacios comerciales

Los sistemas de transporte público urbano de alta capacidad de los países de ingreso bajo y medio pueden alquilar espacios comerciales en las estaciones, especialmente en los centros de trasbordo importantes (véase la imagen 10.2). En Lima, la Estación Central es una estación de autobús de tránsito rápido (BRT) subterráneo (Avenida Grau y Paseo de la República) que se integrará

IMAGEN 10.2. Actividad comercial en restaurantes y tiendas en la estación Hua Lamphong: Bangkok (Tailandia)

Fuente: Tatsuya Fukata a través de Flickr Commons.

físicamente con la línea 2 del metro. Actualmente, dicha estación ofrece alrededor de 60 espacios comerciales, y se prevé que el volumen de pasajeros aumentará considerablemente una vez que la línea 2 esté en funcionamiento. Dicha integración tiene un gran potencial para aumentar los ingresos procedentes del alquiler de espacios comerciales. En São Paulo, por ejemplo, los consultores de franquicias han informado que los alquileres de los espacios comerciales en los sistemas ferroviarios urbanos son, aproximadamente, del 30 % al 60 % más bajos que los alquileres que se cobran en los centros comerciales, lo que indica que existe un gran potencial para aumentar los ingresos adoptando precios de mercado para el alquiler de espacios comerciales en las estaciones de ferrocarril y sus alrededores (Pulido y Portabales, 2015).

Derechos de denominación

En muchos países, las ciudades venden los nombres de las estaciones a empresas privadas para complementar los ingresos tarifarios. Además de añadir ingresos, en algunos contratos de derechos de denominación, se puede estipular que el patrocinador privado debe contribuir a remodelar la estación o brindar servicios a los pasajeros, por ejemplo, una mejor cobertura del servicio de telefonía móvil o conexión gratuita de Wi-Fi. El primer caso con buenos resultados fue el de Dubai, donde se obtuvieron más de USD 100 millones en ingresos por año (en el período 2010-15). Otras ciudades siguieron el ejemplo, como Nueva Delhi, Kuala Lumpur, Mumbai y Nueva York. El metro de Mumbai vendió 12 nombres de estaciones y recaudó entre USD 250 000 y USD 1 millón por año durante un período de cinco años (Pulido y Portabales, 2015).

Si bien los derechos de denominación de las estaciones pueden ser una fuente sólida y relativamente estable de ingresos comerciales, posiblemente menoscaben el aporte de las estaciones de ferrocarril urbano al diseño participativo de espacios públicos (véase el capítulo 16). Por lo general, las estaciones de ferrocarril (que deben sus nombres a zonas o hitos destacados) representan el centro de los vecindarios urbanos y funcionan como importantes puntos de referencia comunitarios. Al denominar las estaciones con los nombres de empresas patrocinadoras en vez de su ubicación, la señalización para los pasajeros (especialmente, los turistas) puede tornarse más confusa y la estación de ferrocarril urbano posiblemente esté menos integrada en el tejido urbano.

Venta de artículos de promoción

Los sistemas ferroviarios urbanos, especialmente aquellos que han existido durante varios años, pueden capitalizar el valor de los logotipos, mapas y eslóganes fácilmente reconocibles. El metro de Londres es un ejemplo notable de un sistema ferroviario urbano que utiliza la venta de artículos de promoción

para generar ingresos adicionales. Mediante el uso del eslogan "*Mind the Gap*" (Cuidado con el hueco), el logotipo registrado y el mapa del sistema en los *souvenirs*, la empresa obtiene aproximadamente USD 4 millones por año. Otros sistemas, como el metro de Madrid y el metro de São Paulo, también han comenzado a aprovechar su imagen de marca. En 2014, el metro de São Paulo declaró ingresos procedentes de la venta de artículos de promoción, productos y servicios por un valor de casi USD 1 millón (Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2014).

Captura del valor del suelo

La implementación de sistemas de transporte público de alta capacidad aumenta la accesibilidad y mejora la movilidad de los residentes en las zonas adyacentes a las estaciones. La mayor accesibilidad, en teoría, incrementa la disposición a pagar por las tierras aledañas a las estaciones de transporte, lo que se traduce en un aumento del valor del suelo. En todo el mundo, las ciudades aprovechan estos aumentos de valor y utilizan los recursos para financiar proyectos de infraestructura y prestación de servicios, lo que incluye cubrir los costos de O&M de los sistemas de transporte.

En esta sección se describe brevemente el gran potencial que tiene la CVS para brindar fondos para los proyectos ferroviarios urbanos. En el capítulo 16 se presenta un análisis más detallado de la CVS y sus impactos en la accesibilidad y la movilidad. En particular, se examinan algunas de las estrategias para aumentar el valor del suelo como parte de un proyecto ferroviario urbano, entre las que se incluyen 1) cambios en las regulaciones (por ejemplo, usos del suelo) que generan un posible incremento de la rentabilidad del uso del suelo; 2) inversiones en infraestructura o el mejoramiento de los vecindarios que se traducen en una mayor demanda de terrenos en esos vecindarios, y 3) la aplicación de impuestos inmobiliarios y de valorización (Suzuki y otros, 2015).

En diversos estudios realizados en países de ingreso alto y de ingreso bajo y medio se han investigado los impactos del desarrollo de ferrocarriles urbanos en el valor del suelo. En un informe sobre varias ciudades de Europa y América del Norte se concluye que, en promedio, el valor de las propiedades comerciales aumenta alrededor del 16,4 % cuando estas se encuentran dentro de un radio de 400 metros de una estación de trenes metropolitanos. En el caso de las propiedades residenciales, el aumento es del 4,2 % (Goetz y otros, 2010). Otros estudios realizados en países de ingreso alto (principalmente, en los Estados Unidos) indican que, según el uso específico del suelo y el tipo de proyecto ferroviario urbano, el valor de las propiedades comerciales ubicadas cerca de las estaciones de ferrocarril tiene un aumento potencial de hasta el 150 %, mientras que las propiedades residenciales tienen un aumento potencial menor,

pero significativo, del 0 % al 45 % (Center for Neighborhood Technology, 2013). En un estudio reciente del Banco Mundial se analizaron los aumentos estimados del valor del suelo en sistemas de transporte público de alta capacidad seleccionados de todo el mundo (véase el cuadro 10.2).

Se pueden mencionar dos clases principales de instrumentos de CVS: basados en el desarrollo y basados en los impuestos.

Captura del valor del suelo basada en el desarrollo

En la captura del valor del suelo (CVS) basada en el desarrollo, se aprovecha el aumento del valor de la propiedad derivado de la inversión en infraestructura, independientemente de que el propietario sea una entidad privada o pública. El desarrollo inmobiliario en las inmediaciones de las estaciones es un ejemplo común de un beneficio externo que se obtiene con las inversiones en transporte ferroviario. Una vez que las obras de infraestructura ferroviaria y las mejoras adyacentes se han completado, el propietario del proyecto puede vender las tierras que se han beneficiado con la presencia del servicio de transporte

CUADRO 10.2. Estimación del aumento del valor del suelo como resultado de las inversiones en transporte público de alta capacidad en ciudades seleccionadas

REGIÓN, PAÍS	AÑO	TIPO DE PROYECTO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE ALTA CAPACIDAD	AUMENTO ESTIMADO DEL VALOR	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
Massachusetts, Estados Unidos	2006	Tren metropolitano	9,6 %-10,1 %	Diferencia de precios de las propiedades entre los municipios con y sin servicio de transporte ferroviario
Santiago, Chile	2005	Línea 4 del metro	3,3 %-4,4 %	Aumento de los precios después del anuncio de la construcción de la línea 4
Seúl, República de Corea	2003	Metro	USD 1,69-USD 7,64 por pie cuadrado	Se aplica a las propiedades comerciales
Bogotá, Colombia	2016	Línea 1 del metro	10 %-20 % y 5 %-10 %	Entre el 10 % y el 20 % de las propiedades ubicadas a menos de 0,5 kilómetros de una estación, y entre el 5 % y el 10 % de las propiedades ubicadas entre 0,5 kilómetros y 1,5 kilómetros de una estación
	2007	Autobús de tránsito rápido	6,8 %-9,3 %	Cada 5 minutos más cerca de una estación a pie, en un radio de 1,5 kilómetros.

Fuente: Banco Mundial, 2015.

ferroviario urbano a un precio más alto y aprovechar el incremento de valor con la venta de la propiedad o de los derechos de explotación de esta. Para que los organismos de ejecución de proyectos puedan capitalizar la CVS, deben disponer de personal con las aptitudes y los conocimientos necesarios sobre los negocios inmobiliarios, y este mandato debe incorporarse en la legislación y la estructura institucional pertinentes[3]. Cuando los organismos de ejecución de proyectos no cuentan con estos conocimientos especializados o esta facultad, pueden asociarse con otras instituciones públicas y privadas que participen activamente en el negocio inmobiliario.

Un tipo particular de derechos de desarrollo que suele acompañar la elaboración de proyectos ferroviarios urbanos se denomina "derechos aéreos", conforme a los cuales un promotor que posee o alquila una propiedad obtiene el derecho de usar y desarrollar el espacio vacío que está sobre la propiedad. Construir sobre vías, andenes, patios talleres o estaciones (o incluso crear estaciones intermedias) puede ser muy rentable para los propietarios de sistemas ferroviarios urbanos. En varios proyectos ferroviarios urbanos, se ha intentado incorporar el valor del desarrollo inmobiliario para compensar las pérdidas operativas causadas por la insuficiencia de ingresos tarifarios. Por ejemplo, en Nueva York en 2015, la Autoridad Metropolitana de Transporte vendió los derechos aéreos de una parcela en Queens Plaza Park, Long Island, para la construcción de una nueva torre de 229 metros que ofrecerá 1000 departamentos en alquiler. Esta operación inmobiliaria permitió aliviar la presión sobre las tarifas, los peajes y los impuestos. Otros ejemplos exitosos de captura del valor del suelo (CVS) son las operaciones inmobiliarias realizadas en la República Árabe de Egipto, India, Sudáfrica y Turquía para financiar proyectos de infraestructura de transporte (Peterson, 2008).

Sin embargo, el desarrollo inmobiliario supone un costo de oportunidad de otros posibles usos del terreno, por ejemplo, para la ampliación del sistema u otras posibilidades de generación de ingresos. Por lo tanto, no es la solución definitiva para resolver el desafío del transporte ferroviario urbano de obtener fondos, y los organismos de ejecución de proyectos deben seguir haciendo hincapié en la mejora de los servicios de transporte y la eficiencia de las operaciones. En algunos casos, los socios del proyecto cuyo principal interés reside en los negocios inmobiliarios pueden tener incentivos perversos para promover el transporte ferroviario urbano sin tener debidamente en cuenta la planificación adecuada de las operaciones. En el caso de una APP, al incluir la explotación de las oportunidades de desarrollo inmobiliario como parte del alcance del contrato, se modifica la naturaleza del negocio, lo que requiere que el socio privado incorpore experiencia en este ámbito y que el organismo de ejecución del proyecto adquiera la capacidad de gestión necesaria. Si los licitantes interesados no

tienen los conocimientos especializados pertinentes, pueden llegar a subestimar las oportunidades de CVS en sus ofertas para reducir su exposición a los riesgos que podrían surgir a partir de estas actividades.

Captura del valor del suelo basada en impuestos

La CVS basada en impuestos es la forma más común de aprovechar el valor que se deriva de la implementación de un sistema ferroviario urbano y del mejoramiento de los vecindarios. En esta modalidad, los impuestos inmobiliarios constituyen una base de ingresos independiente para los Gobiernos locales. A continuación, se incluyen algunos de los instrumentos basados en impuestos que se utilizan tanto en los países de ingreso alto como en los países de ingreso bajo y medio (Suzuki y otros, 2015):

- *Valores del suelo (parcela) y de la edificación (construcción real)*. La mayoría de los impuestos inmobiliarios se basan en el valor de la combinación de la tierra y de los edificios que la ocupan.
- *Evaluaciones especiales y cargos de valorización*. Con estos impuestos y contribuciones se financian mejoras a través de impuestos adicionales sobre las propiedades que reciben tales mejoras.
- *Financiamiento por aumento de impuestos*. Este instrumento se utiliza con frecuencia para financiar mejoras en la infraestructura de transporte en los vecindarios y la provisión de otros servicios básicos en los Estados Unidos. Por ejemplo, Chicago (Illinois) tiene 130 distritos que utilizan el financiamiento por aumento de impuestos, lo que abarca más del 30 % de la ciudad. Sin embargo, este instrumento no se ha adoptado ampliamente en los países de ingreso bajo y medio.

Independientemente del tipo de instrumentos utilizados, se deben cumplir cuatro requisitos a fin de promover el aumento del valor del suelo para el beneficio del público en general: 1) recopilar y mantener datos pertinentes sobre el uso del suelo y los valores de las propiedades; 2) realizar inversiones públicas (o públicas y privadas) en infraestructura que aumenten el valor potencial; 3) implementar cambios en las regulaciones de uso del suelo que aumenten el valor potencial, y 4) llevar a cabo transacciones de venta o alquiler que permitan aprovechar el valor.

Otros ingresos

Además de los ingresos tarifarios, los ingresos comerciales no tarifarios y la CVS, los organismos de ejecución de proyectos pueden considerar otras fuentes de fondeo para pagar los costos de capital y de O&M de los proyectos ferroviarios

urbanos. Entre estas fuentes adicionales, se incluyen los impuestos sobre las ventas, los impuestos sobre la nómina, los fondos para el clima y los cargos impuestos a los usuarios.

Impuestos sobre las ventas

En muchas ciudades, se utilizan incrementos específicos del impuesto sobre las ventas para financiar nuevos proyectos de transporte o los costos de O&M de los sistemas de transporte existentes. Estos incrementos de impuestos pueden ser temporales y tienen una alta aceptabilidad política en situaciones de congestión elevada. En Los Ángeles se ha utilizado una combinación de incrementos sucesivos de impuestos sobre las ventas del 0,5 % que ascienden a un total de alrededor del 1,75 % para extender la línea dorada, abrir la línea plateada, extender la línea naranja (BRT) y extender la línea Expo hasta Santa Mónica. También se prevé que con el aumento adicional del 0,5 % del impuesto sobre las ventas aprobado en 2016 se paguen los gastos de capital y O&M de nuevos tramos de transporte público de alta capacidad y otros proyectos de mejoras del transporte.

Impuestos sobre la nómina

Con los impuestos sobre la nómina se recaudan fondos de los empleadores en su calidad de beneficiarios indirectos de las mejoras del transporte. Se ha comprobado que esta fuente estable de fondos tiene un impacto alto y un costo bajo para el Gobierno (Ardila-Gómez y Ortegón-Sánchez, 2016). En los Estados Unidos, el estado de Oregón tiene un impuesto sobre la nómina del 0,7 % que se aplica al salario bruto y se utiliza para financiar proyectos de transporte. El estado de Nueva York también tiene un impuesto sobre la nómina para la región metropolitana de Nueva York, que oscila entre el 0,11 % y el 0,34 % y se asigna a la Autoridad Metropolitana de Transporte. Quizás el impuesto sobre la nómina más conocido sea el *versement transport*, un impuesto sobre la nómina que se cobra en más del 85 % de las zonas urbanas de Francia. Este impuesto existe desde 1971 en París, donde oscila entre el 1,4 % y el 2,6 %, se cobra a las empresas con más de 10 empleados y genera ingresos que superan las ventas de boletos de transporte (Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina, 2015).

Fondos para el clima

Aunque solo se utilizan en algunos sistemas de transporte público de alta capacidad de países de ingreso bajo y medio, los fondos para el clima pueden contribuir a financiar el transporte ferroviario urbano. Los fondos de carbono —procedentes de fuentes multilaterales y bilaterales como el Mecanismo para un Desarrollo Limpio, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y el Fondo para

una Tecnología Limpia— se refieren a la venta de las emisiones (reducciones) de carbono derivadas de la implementación de sistemas de transporte público de alta capacidad. En los Estados Unidos, el Departamento de Transporte del estado de California anunció recientemente que el Programa de Operaciones de Tránsito con Bajas Emisiones de Carbono aportará fondos por un valor de USD 34,5 millones para 125 proyectos locales. Este programa se financia con lo obtenido de subastas del programa de fijación de límites e intercambio de emisiones de la Junta de Recursos del Aire de California (Estado de California, 2017).

Cargos impuestos a los usuarios

En la última década, se ha producido un importante cambio de paradigma hacia un transporte urbano más sostenible, debido a que los planificadores de este sector han reconocido que el uso sin restricciones de vehículos particulares causa externalidades sumamente negativas en forma de congestión de tráfico y contaminación del aire. Los vehículos particulares con pocos ocupantes suponen un uso ineficiente del espacio urbano, y su utilización de combustibles fósiles genera problemas en materia de salud pública y cambio climático. Con los nuevos sistemas de cargos impuestos a los usuarios (cargos de "pago por uso" y "quien contamina paga"), se puede cobrar mejor a los vehículos particulares por el costo de sus externalidades y, de este modo, fomentar formas más sostenibles y eficientes de transporte. Asimismo, los ingresos generados por estos instrumentos económicos pueden utilizarse para respaldar las inversiones en transporte público de alta capacidad.

Si bien numerosos Gobiernos nacionales y subnacionales ya incluyen alguna forma de cargos a los usuarios en su presupuesto total, en general, estos no son suficientes para cubrir el costo de las externalidades negativas relacionadas con el uso de vehículos particulares. De esta manera, los Gobiernos subsidian implícitamente el uso de vehículos particulares y no maximizan los fondos que podrían generarse cobrando a los usuarios el verdadero costo del transporte privado. Si se generaran nuevas fuentes de ingresos, la parte del presupuesto que se asigna al mantenimiento de la red vial podría utilizarse para financiar inversiones en transporte público de alta capacidad, incluido el transporte ferroviario urbano. Los cargos impuestos a los usuarios varían según el país y la ciudad; a continuación, se incluyen algunos de los tipos más habituales:

- *Tasas por estacionamiento.* Las tasas por estacionamiento tienen un gran potencial para reducir el uso de vehículos particulares, y con los ingresos conexos pueden financiarse mejoras del transporte. En los Estados Unidos, más del 90 % de los viajes en automóvil comienzan y finalizan con estacionamiento gratuito; cobrar el estacionamiento haría que los viajes en

automóviles particulares fueran más costosos y podría fomentar el cambio hacia modalidades más sostenibles (Shoup, 2005). En la Ciudad de México, el sistema de precios de estacionamiento EcoParq destina el 20 % de los ingresos mensuales a inversiones en mejoras de los espacios públicos. En Francia, una parte de los ingresos procedentes de las multas por mal estacionamiento se asigna específicamente al financiamiento de los servicios de transporte público.

- *Cargos por congestión*. En los sistemas de cargos por congestión, se cobra a los usuarios de las calzadas o vías públicas por la congestión adicional que ocasionan durante los picos de demanda. Los cargos por congestión promueven la redistribución de la demanda en el espacio o el tiempo, y obligan a los usuarios de vehículos particulares a pagar por sus externalidades negativas, lo que genera ingresos necesarios que pueden invertirse en alternativas de transporte más sostenibles. En Londres se utiliza la tarificación vial, un mecanismo de fijación de precios mediante el cual se cobra a los vehículos para entrar al centro de la ciudad y se desalienta el ingreso al congestionado distrito comercial central (véase la imagen 10.3). El precio es de aproximadamente USD 12,60, y las penalizaciones por eludir el pago son muy elevadas. Más del 30 % de los ingresos procedentes de este sistema se utiliza para mejorar las modalidades alternativas de transporte, por ejemplo, autobuses y transporte a pie y en bicicleta, así como también para reparar la red vial. También existen sistemas de cargos por congestión en Singapur, Estocolmo, Milán y Gotenburgo.

- *Impuestos a la gasolina*. Los impuestos a la gasolina constituyen una enorme fuente de posibles fondos en las jurisdicciones donde aún no se cobran; sin embargo, generalmente son difíciles de aplicar o aumentar por motivos políticos. En los Estados Unidos, el Fondo Fiduciario de Autopistas administra un impuesto nacional a la gasolina de 18,3 centavos por galón y asigna una parte de estos fondos a proyectos de transporte público de alta capacidad. En Bogotá, más del 50 % del impuesto a la gasolina se ha utilizado para pagar el sistema de BRT denominado TransMilenio. En Alemania, un incremento de un impuesto a la gasolina dedicado originalmente al financiamiento vial ha sido reasignado para inversiones en el transporte público y gastos de O&M.

- *Cargos por registro de vehículos*. Los cargos por registro de vehículos particulares también pueden ser una posible fuente de fondos para sistemas de transporte público de alta capacidad, si son lo suficientemente altos para

IMAGEN 10.3. **Señales que indican cargos por congestión en la zona central: Londres (Reino Unido)**

Fuente: mariordo59 a través de Flickr Commons.

absorber los costos sociales negativos de poseer un vehículo. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la mayoría de los estados establecen las tarifas de registro de vehículos motorizados a un nivel que solo cubre el costo de administración, con lo que pierden la oportunidad de movilizar una buena fuente de fondos para proyectos de tránsito masivo (Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina, 2015).

Financiamiento privado versus público

A los efectos del presente manual, el término "financiamiento" se refiere a los recursos o el capital que se necesitan para ejecutar un nuevo proyecto ferroviario urbano o ampliar un sistema existente antes de que el organismo de

ejecución del proyecto genere los ingresos necesarios para pagar la inversión. Las fuentes de financiamiento para un proyecto ferroviario urbano se clasifican en dos grupos generales: privadas y públicas.

El término "financiamiento privado" se refiere a un préstamo que otorga una entidad privada[4] y está vinculado con la disciplina del mercado, es decir que su reembolso está sujeto al riesgo relativo al desempeño del proyecto y a su tasa interna de retorno o precio correspondiente a dicho riesgo (BAsD y otros, 2016). Se considera que el financiamiento es privado cuando las entidades de financiamiento proporcionan recursos (a un prestatario público o privado) sobre la base de los futuros flujos de efectivo generados por el proyecto, y el reembolso del préstamo está vinculado con el desempeño del proyecto o se ve afectado por este. A los efectos del presente manual, un préstamo de una institución pública en el que la fijación del precio y el reembolso están condicionados por el desempeño del proyecto (por ejemplo, cuando un organismo de financiamiento público presta dinero a un proyecto de APP en condiciones de mercado) se considera financiamiento privado.

El término "financiamiento público" se refiere al financiamiento otorgado por cualquier entidad (pública o privada) a empresas estatales (por ejemplo, empresas de transporte metropolitano a cargo de desarrollar nuevos proyectos ferroviarios urbanos) o Gobiernos sin exposición al riesgo relativo al desempeño del proyecto. El financiamiento para empresas estatales solo se considera financiamiento privado si su reembolso depende del desempeño del sistema, y no de una garantía implícita o explícita del propietario público de la empresa estatal. Así, la deuda emitida por empresas públicas de transporte metropolitano, como el metro de Santiago, no se considera deuda privada si la obligación está respaldada o garantizada por el Estado.

Una definición alternativa de financiamiento público y privado está relacionada con el reconocimiento de obligaciones en el balance del Gobierno. Desde la perspectiva de las cuentas nacionales y la presentación de informes, el financiamiento privado es aquel financiamiento que no se considera deuda pública. Por ejemplo, no está consolidado en el balance del Gobierno correspondiente al sector. El financiamiento público se reconoce en el balance del Gobierno a los efectos contables, independientemente de quién lo otorgue (BAsD y otros, 2016).

Estas definiciones son útiles a la hora de explicar las distintas fuentes de financiamiento para un proyecto ferroviario urbano y los principales factores que deben considerarse para hacer posible una movilización efectiva y óptima. Asimismo, ayudan a comprender los factores esenciales que se necesitan para facilitar las distintas formas de financiamiento y las diferencias en los precios y las condiciones.

Financiamiento público

En el contexto del desarrollo de nuevos proyectos o ampliaciones de transporte ferroviario urbano, los fondos públicos se utilizan para otorgar financiamiento a los Gobiernos locales, a las empresas públicas de transporte metropolitano y, cuando los proyectos se ejecutan a través de APP, a las empresas privadas. El financiamiento público puede movilizarse para proyectos ejecutados mediante adquisiciones tradicionales o a través de APP. En el marco de las adquisiciones públicas, el financiamiento público adopta la forma de pagos del Gobierno al contratista a medida que avanza la construcción o pagos a los contratistas que proporcionan financiamiento (es decir, en virtud del modelo de diseño, construcción y financiamiento [DBF] que se describe en el capítulo 8) y no están expuestos al riesgo del proyecto, sino solamente a los riesgos de crédito y liquidez relacionados con la entidad que realiza los pagos. En un proyecto de APP, los Gobiernos pueden otorgar financiamiento o subvenciones (monetarias o en especie) que reducen la necesidad de que los socios del sector privado movilicen financiamiento privado. En ambos casos, el financiamiento público puede provenir del Gobierno nacional en forma de transferencia o del presupuesto del Gobierno local.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) estima que la inversión total en infraestructura en países de ingreso bajo y medio ascendió a USD 1 billón en 2013, de la cual más de la mitad fue financiada por Gobiernos y solo un tercio, por el sector privado (OCDE, 2015). Por lo tanto, la ejecución satisfactoria de los proyectos ferroviarios urbanos depende todavía fuertemente de la movilización adecuada de diferentes fuentes de financiamiento público. Los organismos de ejecución de proyectos deben evaluar la disponibilidad de distintas fuentes de financiamiento público (que se analizan en las subsecciones siguientes) y realizar una planificación temprana para movilizarlas de manera eficaz.

Financiamiento municipal o subnacional

Los Gobiernos subnacionales (estados y municipios) pueden obtener financiamiento para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos con el respaldo de su propio crédito. El reembolso de este financiamiento municipal no depende de la capacidad de generación de ingresos del sistema urbano, sino de la capacidad general del municipio para generar ingresos de forma directa o indirecta. La dependencia del crédito del Gobierno subnacional es directa cuando el Gobierno subnacional es el prestatario. Es indirecta cuando el Gobierno subnacional garantiza el endeudamiento asumido por un organismo o una empresa de transporte ferroviario urbano de propiedad plena o parcial de ese Gobierno. En el

RECUADRO 10.1.

Financiamiento municipal de la Corporación Financiera Internacional para proyectos ferroviarios urbanos: Turquía

La Corporación Financiera Internacional (IFC) financió las líneas 4 y 7 del metro de Estambul mediante préstamos prioritarios de EUR 50 millones y EUR 65 millones, respectivamente, en virtud de procesos de financiamiento subnacional. Dado que Turquía optó por no emitir garantías soberanas, IFC fue la institución más adecuada del Grupo Banco Mundial para participar en los proyectos debido a su capacidad para otorgar créditos directos a entidades subnacionales solventes en condiciones comerciales y, a la vez, compartir su experiencia y sus mejores prácticas derivadas de proyectos similares. El financiamiento se estructuró mediante un préstamo institucional otorgado al municipio, para no exponer a IFC al riesgo relacionado con los ingresos tarifarios o el número de pasajeros y poder ofrecer condiciones financieras muy competitivas habida cuenta de la situación crediticia relativamente sólida del municipio.

Asimismo, IFC financió los tranvías Konak y Karsıyaka en Izmir a través de un préstamo institucional por un valor de EUR 55 millones otorgado al Municipio Metropolitano de Izmir. El Organismo Francés de Desarrollo y el ING Bank fueron las otras entidades de financiamiento del proyecto. En un proyecto complementario independiente, IFC otorgó un préstamo institucional de hasta EUR 20 millones al Municipio Metropolitano de Izmir para ayudar a financiar la compra de 85 vehículos para el sistema de metro de Izmir. Otras entidades de financiamiento que participaron en el proyecto fueron el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD) y el Organismo Francés de Desarrollo. El financiamiento para Izmir también se proporcionó mediante préstamos institucionales, habida cuenta de la situación crediticia relativamente sólida del municipio, de modo que los prestamistas no estuvieran expuestos al riesgo relacionado con los ingresos tarifarios o el número de pasajeros.

recuadro 10.1, se presentan ejemplos de financiamiento subnacional provisto por la Corporación Financiera Internacional (IFC) junto con bancos comerciales.

Bonos verdes

Los bonos verdes o climáticos son títulos de deuda que se emiten para generar capital específicamente destinado a respaldar proyectos ambientales o relacionados con el clima. Los Gobiernos subnacionales y otras instituciones públicas utilizan los bonos verdes para financiar o refinanciar proyectos que abordan el cambio climático. Los proyectos ferroviarios urbanos, que ofrecen una forma más sostenible de transporte, pueden ser elegibles para estos bonos verdes. Si bien las empresas y los proyectos privados pueden emitir bonos verdes, y lo han hecho cada vez con más frecuencia desde su ingreso al mercado en 2013, las emisiones para respaldar proyectos ferroviarios urbanos han provenido

RECUADRO 10.2.

Emisión de bonos verdes para financiar inversiones en transporte ferroviario urbano

En diciembre de 2016, la Ciudad de México se convirtió en el primer Gobierno subnacional en emitir un bono verde en América Latina. La emisión presentaba un cupón del 6 % y un plazo de vencimiento a 5 años, y la suscripción fue 2,5 veces superior a lo previsto (Iniciativa de Bonos Climáticos, 2017). El producto de los bonos (USD 50 millones) se utilizó para financiar proyectos de transporte sostenible, incluido el sistema de metro de la ciudad. Ese mismo año, el operador de la red de transporte ferroviario público de la Región Administrativa Especial de Hong Kong (China), Mass Transit Railway Corporation (MTRC) Limited, emitió su primer bono verde por un valor de USD 600 millones, con un plazo a 10 años. El bono se utilizó para financiar los proyectos sostenibles de la empresa, incluidas la operación del metro y la instalación de iluminación eficiente desde el punto de vista energético en los vehículos y las estaciones.

principalmente de Gobiernos subnacionales y bancos multilaterales de desarrollo (BMD). La mayoría de los bonos verdes son adquiridos por inversionistas institucionales en los mercados de capital. Los bonos verdes emitidos por Gobiernos subnacionales han aumentado de USD 4000 millones en 2014 a USD 10 500 millones en 2016, y el principal mercado es Estados Unidos, seguido de Europa (véase el recuadro 10.2).

Financiamiento del Gobierno nacional

Los organismos de ejecución de proyectos a menudo reciben transferencias del Gobierno nacional que pueden utilizarse para pagar las inversiones de capital. Desde el punto de vista del organismo de ejecución del proyecto (que suele ser una entidad subnacional), estas transferencias constituyen otra fuente de financiamiento para los proyectos ferroviarios urbanos. En el marco de este mecanismo, es fundamental que el organismo de ejecución del proyecto cumpla con todos los requisitos de cofinanciamiento, obtenga los fondos tempranamente y proteja los compromisos de financiamiento del riesgo político mediante convenios formales a largo plazo. Un ejemplo de este mecanismo es la estructura de financiamiento del Programa Nacional de Transporte Urbano de Colombia (Ley 310 de 1996), en el que se establece que el Gobierno nacional debe financiar el 70 % del costo de los sistemas de transporte público de alta capacidad, y el 30 % restante debe proceder de los Gobiernos locales que ejecutan estos proyectos.

En un número limitado de casos, los organismos de ejecución de proyectos dependen o son de propiedad total del Gobierno nacional, en cuyo caso una

parte importante del financiamiento proviene de préstamos o bonos respaldados por el crédito del Gobierno nacional. Esta es la situación del proyecto de la línea 2 del metro de Lima, en Perú, una APP con cofinanciamiento público provisto completamente por el Gobierno nacional, sin participación financiera del Gobierno municipal. El Gobierno de Perú emitió bonos para el proyecto.

Financiamiento oficial para el desarrollo

En 2013, los socios oficiales en la tarea del desarrollo, incluidas las fuentes multilaterales y bilaterales, financiaron alrededor del 6 % de las inversiones en infraestructura a nivel mundial, por un valor de USD 60 000 millones. De este monto, aproximadamente USD 27 000 millones se destinaron al sector del transporte, de los cuales alrededor de USD 8000 millones se asignaron a proyectos de desarrollo de transporte ferroviario y sistemas de transporte urbano sostenible (OCDE, 2015).

En 2015, la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) instó encarecidamente a los países de ingreso alto a incrementar su nivel de apoyo financiero y adoptar una hoja de ruta concreta para movilizar USD 100 000 millones por año en financiamiento para el clima hasta 2020. Se prevé que las instituciones financieras de desarrollo bilaterales y multilaterales proporcionarán una parte considerable de este monto.

Bancos multilaterales de desarrollo

Las instituciones multilaterales de desarrollo públicas, incluido el Banco Mundial, pueden respaldar el financiamiento de proyectos ferroviarios urbanos. En general, estas instituciones financian las contribuciones del sector público a través de préstamos a largo plazo garantizados por el Gobierno nacional.

Los organismos de ejecución de proyectos pueden aprovechar los mayores compromisos de los BMD para respaldar proyectos de mitigación del cambio climático, incluidos los vinculados con el transporte público de alta capacidad. En 2012, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible que se llevó a cabo en Río de Janeiro, los principales BMD del mundo[5] se comprometieron a proporcionar USD 175 000 millones a lo largo de 10 años para ayudar a financiar sistemas de transporte sostenibles. En 2015, en el contexto de la Conferencia sobre Cambio Climático celebrada en París, los BMD también se comprometieron a incrementar considerablemente el financiamiento para el clima para 2020 (CMNUCC, 2016). En particular, el Grupo Banco Mundial anunció que aumentaría su cartera de financiamiento relacionado con el clima en un tercio, al 28 % de los compromisos anuales, para 2020. Esta promesa implica un aumento del financiamiento directo para medidas relacionadas con el clima del promedio actual de USD 10 300 millones por año a USD 16 000 millones.

Los BMD ayudan a financiar las obras de construcción, los equipos, la planificación, el diseño y los estudios técnicos mediante el otorgamiento de

préstamos (a Gobiernos nacionales y subnacionales). Además, proporcionan garantías financieras que reducen el riesgo de los proyectos y préstamos, lo que mejora el acceso al crédito, reduce el costo de los intereses y amplía los plazos del financiamiento. Los préstamos a los Gobiernos pueden utilizarse en las adquisiciones convencionales (el Gobierno toma empréstitos para realizar pagos a los contratistas) o en un contexto de APP (el Gobierno toma empréstitos para realizar pagos al asociado privado). Además del financiamiento, los BMD también brindan asistencia técnica y fortalecimiento de la capacidad sobre instituciones y gestión, ingeniería, mitigación de riesgos sociales y ambientales, y estructuración técnica, económica y financiera de proyectos a través de subvenciones (no reembolsable) y servicios de asesoría reembolsables.

La participación de los BMD en el financiamiento de proyectos ferroviarios urbanos puede constituir un valor agregado, ya que fortalece la debida diligencia y el seguimiento de los aspectos técnicos, fiduciarios, ambientales y sociales durante la ejecución. El valor generado por los BMD es mayor cuando participan desde las primeras etapas del proyecto y cuando los organismos de ejecución tienen en cuenta los requisitos de estas entidades de financiamiento en la planificación y el diseño del proyecto.

Financiamiento bilateral

Algunos Gobiernos nacionales proporcionan financiamiento para proyectos de transporte ferroviario a través de préstamos de bancos de desarrollo o de exportación e importación. Los préstamos de instituciones bilaterales de desarrollo se consideran asistencia oficial para el desarrollo y se otorgan en condiciones concesionarias con plazos de vencimiento prolongados. El financiamiento de los bancos de exportación e importación está vinculado con la ejecución de proyectos por parte de empresas procedentes de los países de estas entidades gubernamentales. Países como China, Francia y Japón son grandes proveedores de financiamiento para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio.

Por ejemplo, en 2016, el Gobierno de Japón, a través del Organismo Japonés de Cooperación Internacional, anunció el otorgamiento de financiamiento en condiciones concesionarias para la ejecución del proyecto del metro de Ahmedabad en el estado de Gujarat, en India. En 2011, el Banco de Exportación e Importación de China otorgó un préstamo al Gobierno de Etiopía para la construcción de la primera línea de metro ligero en Addis Abeba, a cargo de la Corporación de Ingeniería Ferroviaria de China. Con el préstamo se financió aproximadamente el 85 % del costo total del proyecto, de USD 475 millones. El Organismo Francés de Desarrollo también está financiando proyectos de metros en América Latina y otras regiones en desarrollo.

Valores respaldados por el Gobierno o financiamiento público estructurado

Los proyectos ferroviarios urbanos también pueden financiarse emitiendo valores respaldados por obligaciones directas o indirectas de un organismo público, es decir, valores respaldados por el Gobierno (véase el recuadro 10.3). Los inversionistas en valores respaldados por el Gobierno vinculados con un proyecto ferroviario urbano contribuyen a financiar la construcción o la operación, pero no están expuestos a los riesgos inherentes a la finalización del proyecto o la demanda. En dicha estructura, el servicio de la deuda del proyecto ferroviario urbano está respaldado directamente por una entidad pública a través de las asignaciones presupuestarias futuras o de garantías explícitas, independientemente del desempeño del proyecto.

Habida cuenta de la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos y las incertidumbres relacionadas con la futura cantidad de pasajeros, los inversionistas y prestamistas suelen asignar un costo alto a los riesgos, lo que genera un

RECUADRO 10.3.

Financiamiento a través de valores respaldados por el Gobierno: línea 2 del metro de Lima (Perú)

De acuerdo con el contrato del proyecto de la línea 2 del metro de Lima, la autoridad otorgante (el Ministerio de Transporte) remunera las inversiones del concesionario privado a través de certificados de pago condicionados al cumplimiento sustancial de los hitos de inversión de capital para la construcción y la provisión de material rodante. Estos certificados, denominados "retribución por inversiones-certificado de avances de obras (RPI-CAO)", otorgan al concesionario el derecho incondicional de recibir un flujo de pagos de un monto fijo, denominado en dólares estadounidenses, durante un período de 15 años.

Los RPI-CAO constituyen obligaciones de pago contractuales incondicionales e irrevocables de la autoridad otorgante y deben pagarse independientemente del desempeño del proyecto en su conjunto. Por lo tanto, se considera que esta forma de financiamiento son valores respaldados por el Gobierno (financiamiento soberano estructurado). Si bien la autoridad otorgante primero financia los pagos de los RPI-CAO con los ingresos tarifarios, el Gobierno de Perú está obligado por contrato a compensar cualquier déficit del monto necesario para realizar los pagos, protegiendo al concesionario del riesgo de demanda.

En 2015, el concesionario de la línea 2 del metro de Lima recaudó USD 1150 millones a través de una estructura de financiamiento que incluía la emisión de valores respaldados por los RPI-CAO. En virtud de esta estructura, el concesionario vende sus RPI-CAO a una sociedad de propósito específico que no corre riesgo de insolvencia, que simultáneamente toma un empréstito para adquirir los RPI-CAO del concesionario (en virtud de un contrato de compraventa). Esta estructura ha dado buenos resultados para financiar proyectos de APP en Perú.

financiamiento más costoso que el financiamiento público directo. Al eliminar los riesgos de la ecuación, el financiamiento de proyectos en virtud de esta modalidad se convierte en financiamiento público estructurado, en lugar de financiamiento para proyectos. Sin embargo, entre las desventajas del uso de este instrumento de financiamiento para proyectos estructurados como APP, se incluyen la eliminación de la exposición de las entidades de financiamiento al riesgo relativo al desempeño y la reducción de los incentivos para ofrecer mayor eficiencia, los beneficios durante todo el ciclo de vida y la disciplina de mercado que conlleva el financiamiento garantizado por los ingresos previstos del proyecto, netos de costos de operación.

Exenciones de impuestos

Eximir a los proyectos ferroviarios urbanos de tarifas e impuestos determinados también puede ser una forma de financiamiento público. La planificación temprana de las exenciones y las exigencias jurídicas conexas es fundamental para utilizar con eficacia esta forma de financiamiento. En la mayoría de los casos, para aplicar estas exenciones o cesiones de impuestos, se necesitarán modificaciones de la legislación y una coordinación estrecha entre la autoridad fiscal y la entidad que ejecuta el proyecto (véase el recuadro 10.4).

En los casos en los que la obligación de transferir impuestos está suficientemente establecida, en los proyectos se puede incluso estructurar el financiamiento con el respaldo de las cesiones de impuestos. Cuando los proyectos se ejecutan en el marco de una APP, los responsables de la toma de decisiones y

RECUADRO 10.4.

Exenciones de impuestos para proyectos ferroviarios urbanos en Brasil y Ecuador

En Brasil, el estado de São Paulo aplica un impuesto a las operaciones relacionadas con el movimiento de mercancías, los servicios de transporte y comunicaciones, y el suministro de otros bienes y servicios generales. El Gobierno del estado ofreció una exención de este impuesto al concesionario a cargo de desarrollar e implementar las líneas 6 y 18 del metro de São Paulo. Al momento de la evaluación del proyecto, las exenciones representaban un ahorro de costos estimado en USD 198 millones en el caso de la línea 6 y USD 82 millones en el caso de la línea 18. El Gobierno del estado tiene previsto desarrollar los dos proyectos mediante APP.

En Ecuador, el Gobierno nacional y el Gobierno de la ciudad de Quito acordaron eximir al proyecto del metro de Quito de los impuestos sobre las importaciones y las ventas con respecto a la construcción y la provisión de equipos en el marco del proyecto. Estas exenciones de impuestos representan un ahorro de alrededor del 12 % del costo total del proyecto. El proyecto actualmente se ejecuta mediante adquisiciones públicas.

los organismos de ejecución de proyectos deben considerar cuidadosamente los beneficios relacionados con las exenciones de impuestos a largo plazo (especialmente, en el caso del impuesto sobre la renta de las sociedades). Es posible que las leyes tributarias y las prácticas contables existentes ya contemplen importantes escudos fiscales en los primeros años a través de la depreciación y las deducciones de gastos financieros. Otorgar otras reducciones de impuestos en años posteriores puede disminuir los incentivos para realizar nuevas inversiones de capital y reducir los posibles ingresos públicos (Mandri-Perrott y Menzies, 2010).

Contribuciones en especie

La provisión de terrenos, instalaciones o material rodante como contribuciones en especie del Estado puede ayudar a reducir los costos iniciales de los proyectos. Esta es una fuente de financiamiento para proyectos en la que el Gobierno utiliza activos reales para pagar indirectamente las obras o reducir la necesidad de recursos. El Gobierno, al proporcionar suelo como contribuciones en especie, asume el costo de oportunidad del valor de los usos alternativos de las propiedades.

Cuando el sector público proporciona contribuciones en especie a un contratista en el marco de un modelo tradicional de adquisiciones públicas, pueden surgir dificultades relacionadas con la propiedad de los activos y la integración entre los contratos y los activos (véase el caso del metro de Quito en el recuadro 10.5). Las contribuciones en especie también pueden dirigirse a una

RECUADRO 10.5.

Contribuciones en especie para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos

Línea 1 del metro de Quito

Para la implementación de la línea 1 del metro de Quito, el Gobierno municipal proporcionó la mayoría de los terrenos necesarios para construir las estaciones. De las 15 estaciones, 13 se construirán sobre suelo de propiedad del municipio y volverán al uso público una vez que se ponga en marcha la operación en el marco del proyecto. La adquisición de terrenos solo fue necesaria para tres estaciones, y no se prevén operaciones de reasentamiento. El uso de suelo público es una forma de financiamiento público y puede reducir considerablemente el costo total del proyecto.

Tren suburbano SuperVia, Río de Janeiro

En el contexto de la APP, Río de Janeiro (Brasil) emplea subvenciones en especie para brindar apoyo público al concesionario del tren suburbano SuperVia. En este proyecto, el estado de Río de Janeiro (la autoridad otorgante) ha financiado la provisión de material rodante a cambio de inversiones en la modernización de trenes y estaciones financiadas por el concesionario que opera el sistema.

empresa de APP (en cuyo caso, se consideran subvenciones en especie) y representan una forma de cofinanciamiento (véase el caso de SuperVia en el recuadro 10.5).

Financiamiento privado

En los proyectos de infraestructura, se utiliza cada vez más el financiamiento privado, además del financiamiento público. A diferencia de la alternativa pública, el financiamiento privado conlleva la expectativa de obtener una rentabilidad razonable. Los promotores y los inversionistas racionales que buscan maximizar los beneficios están preparados para asumir riesgos potencialmente elevados solo si esperan obtener recompensas proporcionales (Mandri-Perrott y Menzies, 2010). Los organismos de ejecución de proyectos deben comprender con claridad la manera en que los promotores privados obtendrán la rentabilidad prevista a través de la elaboración y la ejecución del proyecto. Esto les ayudará a prever y comprender los objetivos de generación de ingresos de los socios privados y las fuentes y el costo del financiamiento privado que podrían tener a su disposición. En particular, los Gobiernos que implementan una APP deben familiarizarse con las fuentes habituales de financiamiento privado (que se examinan en las subsecciones siguientes) cuando estructuran el proyecto, a fin de garantizar la viabilidad financiera.

El financiamiento privado puede obtenerse en forma de deuda, capital o cuasicapital. La deuda puede consistir en préstamos o bonos que tienen una mayor prioridad de reembolso que los dividendos previstos por los inversionistas en capital social como contraprestación por su inversión de capital (deuda prioritaria). El capital puede adoptar la forma de capital puro o acciones de capital e instrumentos de cuasicapital (deuda secundaria o subordinada). La deuda subordinada tiene una mayor prioridad de reembolso que el capital, pero solo se paga después de la deuda prioritaria. La deuda prioritaria puede estructurarse en diferentes tramos con distintos niveles de prioridad. En las secciones siguientes se analizan estas fuentes de financiamiento privado y se destacan sus principales ventajas y desventajas para las entidades de financiamiento privadas de proyectos ferroviarios urbanos.

Inversionistas en capital social

Los inversionistas en capital social pueden dividirse en dos grupos: 1) patrocinadores o promotores con interés en la construcción, la provisión de equipos y los servicios de O&M de activos de infraestructura, y 2) inversionistas financieros con interés en los sectores de infraestructura (generalmente, fondos de infraestructura u otros inversionistas de capital de riesgo, incluidos, en algunos casos,

los inversionistas institucionales) que pueden invertir conjuntamente con los promotores del proyecto.

Al igual que los patrocinadores o promotores, el Gobierno puede invertir en acciones de capital en la sociedad de propósito específico, actuando como socio financiero. Los organismos respaldados por el Gobierno también pueden proporcionar deuda subordinada (cuasicapital) para proteger a los prestamistas comerciales (véase la sección sobre apoyo y mejora crediticia).

Los inversionistas institucionales también pueden invertir capital en proyectos ferroviarios urbanos de forma indirecta, a través de fondos de inversión de capital o instrumentos de inversión especializados. Un ejemplo de estos instrumentos es la empresa brasileña de inversiones Invepar, que es propiedad de los fondos de pensiones de dos de los bancos más importantes y de la empresa petrolera nacional de Brasil. Invepar tiene inversiones en tres proyectos de movilidad urbana, incluidos dos sistemas de metro y un proyecto de metro ligero. En algunos mercados, como México, los inversionistas institucionales pueden invertir capital en proyectos de infraestructura a través de los mercados de capital público mediante valores especialmente diseñados que son emitidos por instrumentos de inversión especializados.

Bancos comerciales

Tradicionalmente, la mayoría de los proyectos de infraestructura se han financiado a través de préstamos. Los bancos comerciales son la principal fuente de financiamiento a largo plazo para proyectos de infraestructura debido a su capacidad de adaptar los desembolsos para que coincidan con los cronogramas de construcción y a su profunda comprensión de los riesgos de un proyecto. Sin embargo, mediante algunos cambios recientes en las regulaciones, se ha reducido la capacidad de los bancos comerciales de proporcionar financiamiento a largo plazo y se ha alentado a los organismos públicos y a los promotores de proyectos a recurrir a la emisión de bonos para financiar sus proyectos de infraestructura. Esta fuente de financiamiento también incluye a los bancos que, aunque sean de propiedad del Gobierno, operan comercialmente y otorgan préstamos a tasas de mercado.

Mercados de capital (inversionistas institucionales)

Los socios privados y las empresas de proyectos que establecen APP de transporte ferroviario urbano pueden emitir bonos en los mercados de capital[6], y utilizar los ingresos obtenidos para financiar un proyecto de infraestructura de una solo clase de activo con recursos limitados. Los bonos para financiar proyectos pueden ofrecerse en emisiones públicas o en colocaciones privadas, en cuyo caso no se cotizan y se venden a un número limitado de inversionistas. Los

compradores de bonos generalmente son inversionistas institucionales, como compañías de seguros y fondos de pensiones, que requieren una rentabilidad a tasa fija y a largo plazo, y pasivos con contrapartida a largo plazo.

La venta de bonos para financiar la infraestructura no es una idea nueva; sin embargo, su uso no es muy común en los nuevos proyectos de transporte. Ha habido varias emisiones de bonos para proyectos de transporte en América Latina, pero la mayoría de esos bonos se ha destinado a refinanciar la deuda existente y a financiar ampliaciones de los proyectos de APP existentes que ya generan flujos de efectivo estables (proyectos de acondicionamiento o ampliación de infraestructura previa). Estos bonos generalmente están respaldados completamente por pagos del Gobierno, sin exposición alguna al riesgo relativo al proyecto, y representan bonos públicos más costosos encubiertos. Es el caso del financiamiento mediante la emisión de bonos asociados a la venta de cuentas por cobrar del Gobierno, que se utilizó para el proyecto de la línea 2 del metro de Lima.

La ventaja de los bonos es que permiten que los promotores de proyectos accedan a un conjunto completamente nuevo de recursos a largo plazo provistos por inversionistas institucionales. Si la solvencia de la emisión es suficiente para atraer a los inversionistas, el financiamiento mediante la emisión de bonos puede tener las siguientes ventajas adicionales:

- Los bonos se utilizan solo para los proyectos de mayor magnitud, debido a que los inversionistas necesitan que la emisión sea lo suficientemente grande para que tenga liquidez de mercado y pueda incluirse en los índices pertinentes. En el caso de los grandes proyectos, los préstamos bancarios pueden ser más limitados y, por ende, los bonos para proyectos quizá sean más adecuados.
- Es posible que los bonos tengan un costo inferior al de los préstamos bancarios equivalentes, en parte debido a la base más amplia de inversionistas.
- Los bonos pueden proporcionar financiamiento a más largo plazo que los préstamos bancarios, que se ofrecen cada vez más con vencimientos más breves.

Sin embargo, los bonos para financiar construcciones nuevas (proyectos sin infraestructura previa) siguen siendo escasos, principalmente porque los riesgos relacionados con la construcción los tornan poco atractivos para los inversionistas institucionales no especializados, y porque estos inversionistas no están preparados para evaluar y valorar los riesgos del proyecto de forma independiente. A diferencia de los préstamos de bancos comerciales, los inversionistas en bonos para financiar proyectos generalmente no participan en el proceso

de debida diligencia, sino que dependen del banco de inversiones del proyecto y de un organismo de calificación para que realicen dicha labor. Los organismos de calificación crediticia como Standard & Poor's y Moody's asignan una calificación crediticia al bono en función de un examen independiente de los riesgos del proyecto.

Además, se puede considerar que los proyectos ferroviarios urbanos conllevan un riesgo más alto que otros tipos de infraestructura y están sujetos a numerosos cambios y ajustes durante la ejecución. Esto hace que la participación de inversionistas institucionales sea más difícil por varias razones: 1) los fondos de pensiones y las compañías de seguros procuran obtener flujos de efectivo estables; 2) la mayoría de los administradores de inversiones no tienen los conocimientos especializados necesarios para evaluar los riesgos que conllevan los proyectos de transporte ferroviario; 3) es difícil organizar a varios inversionistas pasivos con experiencia limitada en el sector para tomar decisiones claves en materia de reestructuración cuando los proyectos no dan los resultados previstos, y 4) a diferencia de los préstamos que pueden desembolsarse a lo largo del tiempo en consonancia con el cronograma de construcción del proyecto, el producto de los bonos generalmente se obtiene una sola vez al momento del cierre, lo que genera un costo financiero para los emisores que no necesitan todo el dinero a la vez.

Algunas de estas restricciones pueden abordarse a través de mecanismos de mejora del crédito que llevan la situación crediticia de las emisiones de bonos al nivel que exigen los inversionistas institucionales. Esta mejora crediticia puede incluir productos financiados (tramos de deuda subordinada) o productos no financiados (garantías o cartas de crédito contingente) que brinden protección a primera solicitud a los inversionistas en bonos. Asimismo, algunos BMD y organismos nacionales pueden actuar como inversionistas en bonos para promover el financiamiento de la infraestructura en los mercados de capital.

El Banco Mundial, cuando asesoró al Gobierno de São Paulo sobre la estructuración de las APP relativas a las líneas 6 y 18, evaluó cómo podía utilizarse un instrumento nuevo en ese momento en el mercado de capital de Brasil (*debênture de infraestrutura*) para atraer capital privado y reducir el volumen de las contribuciones iniciales del Gobierno. La estructura de financiamiento resultante (viable en virtud del marco jurídico de ese momento) incluía aproximadamente el 20 % del financiamiento total procedente de la emisión de estos bonos. Sin embargo, la estructura propuesta no se concretó debido a la disponibilidad de financiamiento público del Banco de Desarrollo de Brasil (BNDES) y la gran diferencia entre el costo del financiamiento del BNDES y el costo del financiamiento mediante la emisión de bonos en los mercados de capital en ese momento.

La aplicación de bonos locales en países de ingreso bajo y medio puede verse limitada por el tamaño del mercado de capital para el financiamiento en moneda nacional. Sin embargo, la experiencia reciente demuestra que, en algunos mercados emergentes, hay más financiamiento a largo plazo disponible a través del mercado de bonos nacionales que a través del mercado bancario nacional (por ejemplo, en Uruguay, para el financiamiento en 2015 de una APP relacionada con infraestructura social). Otros mercados emergentes (como Chile, México y, más recientemente, Perú) recurren cada vez más a los bonos para proyectos, dirigidos a inversionistas nacionales e internacionales, para financiar obras de infraestructura.

Financiamiento para las APP en el transporte ferroviario urbano

Los proyectos ejecutados en virtud de modelos de adquisiciones tradicionales (por ejemplo, diseño, licitación y construcción; diseño y construcción; y diseño, construcción, operación y mantenimiento) son financiados por el sector público. A fin de complementar el financiamiento público, los organismos de ejecución de proyectos recurren cada vez más a fuentes privadas de financiamiento. La movilización de capital privado para los proyectos ferroviarios urbanos sigue siendo limitada en relación con el financiamiento de proyectos en otros sectores, y el financiamiento privado rara vez puede reemplazar completamente o eliminar la necesidad de obtener financiamiento público. Y aunque haya financiamiento privado disponible, es posible que no se movilice con el costo y los plazos de vencimiento necesarios para que los proyectos sean financieramente viables.

Si bien existen fuentes de financiamiento privado disponibles fuera de los modelos de ejecución de proyectos basados en APP, los organismos de ejecución de proyectos generalmente procuran establecer APP con el objetivo de movilizar financiamiento de fuentes privadas. En recientes proyectos de APP de transporte ferroviario urbano de Brasil y Perú, el sector privado ha aportado entre el 30 % y el 50 % del financiamiento total necesario, y el resto fue provisto por el sector público en forma de subvenciones de capital. En las APP también puede ocurrir que los socios del sector público cofinancien las inversiones. En China, las APP de transporte ferroviario urbano incluyen alianzas entre la autoridad otorgante pública y empresas estatales. Por ejemplo, la ciudad de Wuhu, en la provincia central de Anhui (China), al no contar con fondos suficientes para financiar el proyecto completo, realizó un proceso de licitación a fin de conseguir un socio para construir y operar dos líneas de metro con un total de 46,8 kilómetros y para suministrar una parte de los CNY 14 600 millones (14 600 millones

de yuanes) necesarios para el proyecto. China Railway Group y China Railway Rolling Stock Corporation (CRRC), dos empresas estatales administradas por el Gobierno central, presentaron una oferta por el proyecto y obtuvieron una participación del 32,5 % y del 37,5 %, respectivamente.

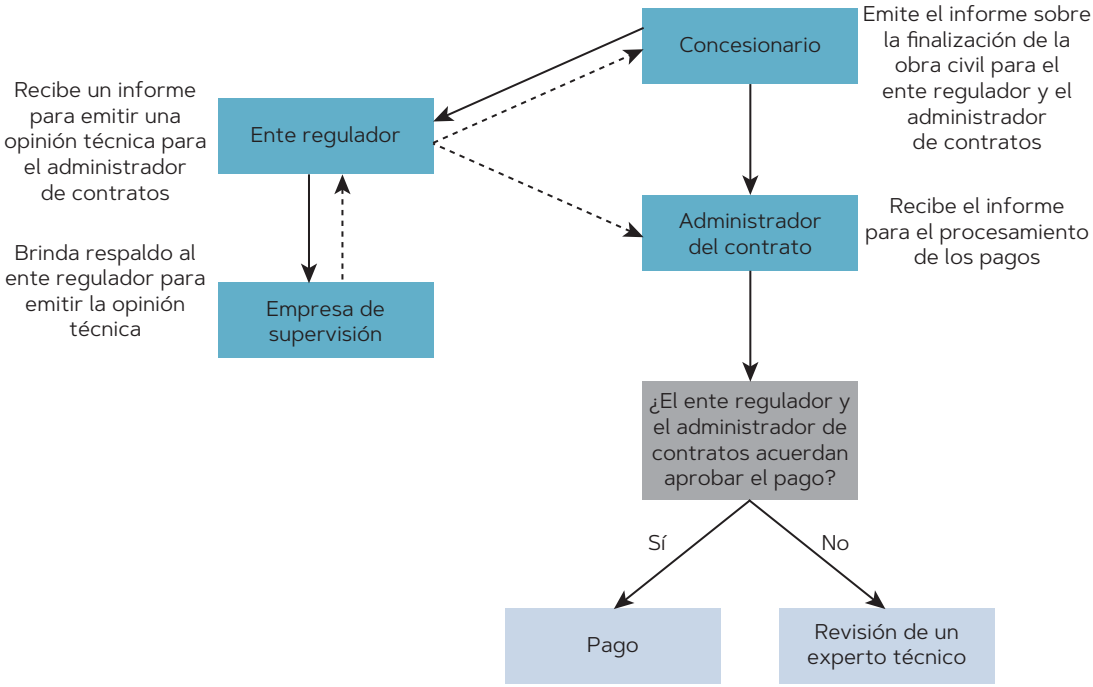
Cofinanciamiento público

El cofinanciamiento público tiene como objetivo respaldar los proyectos que presentan una justificación económica pero que no son financieramente viables. Las APP de transporte ferroviario urbano suelen incorporar una subvención de capital o cofinanciamiento público para compensar la inversión de capital inicial y las obligaciones conexas de reembolso de la deuda del socio privado. Los principales objetivos del cofinanciamiento público son 1) reforzar el financiamiento privado cuando el volumen de la inversión de capital no pueda reembolsarse o recuperarse totalmente a partir de los flujos de efectivo del proyecto y 2) reducir el costo general de capital del proyecto para que sea más asequible. Las contribuciones de capital público pueden provenir de los presupuestos de los Gobiernos nacionales o subnacionales, y partes de estos pagos también pueden financiarse con préstamos otorgados por bancos internacionales y nacionales de desarrollo.

El cofinanciamiento público puede otorgarse en forma de subvenciones, que generalmente se denominan "fondos destinado a cerrar brechas de viabilidad (VGF)". Los VGF solo se desembolsan una vez que los inversionistas del proyecto han comprometido capital para el proyecto y, por ende, han puesto su capital en riesgo. Como alternativa, los desembolsos de VGF también pueden seguir los desembolsos de deuda para armonizar los intereses del proveedor de VGF (el Gobierno) con los de los prestamistas que llevan a cabo los procesos de debida diligencia y controlan el desempeño. Por ejemplo, la APP del metro de Hyderabad de India utiliza VGF. Este proyecto se adjudicó en 2010 al licitante que solicitó el apoyo mediante VGF más bajo, equivalente al 12,35 % del costo total del proyecto. Asimismo, el proyecto del metro de la ciudad de Pune (India) también se está elaborando con la intención de incorporar los VGF en la estructura de financiamiento.

El cofinanciamiento público también puede consistir en pagos periódicos que se efectúan al socio privado como reembolso de una parte de los gastos de capital necesarios para construir infraestructura o proporcionar equipos. Los pagos generalmente están vinculados con el logro de los hitos de ejecución del proyecto (el contratista alcanza una etapa de entrega programada o un producto específico de la construcción). Esta forma de cofinanciamiento público se utilizó para financiar la APP de la línea 2 del metro de Lima (véase el gráfico 10.2).

GRÁFICO 10.2. Pagos de contribución de capital público al concesionario: línea 2 del metro de Lima



La determinación del nivel adecuado de las subvenciones de capital y la definición de hitos de construcción apropiados constituyen un desafío para los planificadores de proyectos. Una subvención de capital mayor de lo necesario o diseñada de manera deficiente puede reducir la transferencia del riesgo en detrimento de los incentivos para generar valor por dinero cuando los socios del sector privado no tienen suficiente capital en riesgo en el proyecto. Por el contrario, las subvenciones de capital insuficientes pueden dar como resultado un concesionario privado potencialmente inestable y, por consiguiente, primas de riesgo altas (Mandri-Perrott y Menzies, 2010). En la APP de la línea 2 del metro de Lima, en la que los licitantes privados tuvieron la opción de determinar qué hitos de la obra se financiarían mediante el cofinanciamiento público y cuáles se compensarían a través de pagos diferidos en virtud de la estructura de retribución por inversiones-certificado de avances de obras (RPI-CAO), los organismos de calificación identificaron una posible forma en la que el socio privado podía reducir su riesgo, que consistía en asignar las obras más difíciles (principalmente, las relacionadas con la construcción de túneles) al cofinanciamiento

RECUADRO 10.6.

Eliminación de obstáculos al cofinanciamiento público de proyectos de asociaciones público-privadas: líneas 6 y 18 del metro, São Paulo (Brasil)

Cuando el Gobierno de São Paulo estaba preparando las APP para las líneas 6 y 18 del metro, la regulación vigente en Brasil (artículo 7 de la ley de APP de 2004) prohibía que el sector público realizara contribuciones financieras a un proyecto basado en una APP con anterioridad al inicio de la operación. Debido a esta restricción legal, también presente en las leyes de APP de Colombia y otros países, fue necesario 1) movilizar mayores volúmenes de capital privado al comienzo, lo que redujo el rendimiento de capital del proyecto, o 2) contraer deuda comercial adicional para financiar las obras de construcción. Ambas opciones incrementaron los costos de financiamiento y, por ende, demandaron un pago por disponibilidad más elevado (*contraprestação*) durante la operación o tarifas más altas para que el proyecto fuera financieramente viable. La discordancia entre el momento en que se realizaron las inversiones y el momento en que fue posible remunerarlas se reflejó en un incremento de la tasa interna de retorno exigida del proyecto, lo que elevó el costo de la prestación del servicio. En reconocimiento de que este enfoque era ineficiente desde el punto de vista financiero, antes de licitar los proyectos de São Paulo, se modificó el marco jurídico para permitir que el asociado del sector público de una APP realizara contribuciones durante la construcción y posteriormente.

(reembolsos en efectivo) (Standard & Poor's Ratings Services, 2015). También es importante que los Gobiernos que participan en la preparación de proyectos ferroviarios urbanos consideren la viabilidad jurídica y financiera de la movilización de contribuciones iniciales de capital público (véase el recuadro 10.6).

Otra cuestión que debe tenerse en cuenta se relaciona con los impuestos aplicables a los pagos efectuados a los socios privados en virtud de sistemas de cofinanciamiento público. En el sistema ferroviario rápido Gautrain Rapid Rail Link de Sudáfrica, se ha incorporado una importante subvención de capital de la provincia de Gauteng. Antes de la aprobación de una ley especial, las subvenciones de capital de Gauteng habrían incrementado la base imponible para el concesionario y representado un costo adicional que se habría cobrado a la provincia de Gauteng en forma de ofertas con precios más elevados (Mandri-Perrott y Menzies, 2010).

El suministro público de infraestructura o material rodante específicos puede ayudar a reducir los costos iniciales de los socios privados. Sin embargo, es importante que estos socios tengan un incentivo para ofrecer un desempeño adecuado y mantener debidamente los activos. Por ejemplo, en la APP para el desarrollo y la operación del sistema de trenes suburbanos de Río de Janeiro, el

sector público adquirió y financió los trenes a cambio de la inversión del concesionario privado en mejoras de las estaciones, recuperación de las vías férreas y mejores equipos. En este caso, el Gobierno de la ciudad, que cumplió con las normas de adquisiciones del Banco Mundial, pudo obtener importantes ahorros en la compra de material rodante.

Financiamiento privado

Los proyectos ferroviarios urbanos ejecutados en virtud de planes de APP han sido financiados por fuentes del sector privado mediante el financiamiento para proyectos o empresas. Como ocurre con otros sectores de infraestructura, la mayoría de las APP de transporte ferroviario urbano se financian a través del financiamiento para proyectos. Para las APP de transporte ferroviario urbano, se necesitan importantes inversiones privadas iniciales que exceden la capacidad de los balances generales de los promotores. Los promotores y desarrolladores de proyectos prefieren el financiamiento para proyectos, que se orienta a proyectos sin recursos suficientes que quedan fuera del balance (véase el cuadro 10.3). Sin embargo, estas atractivas particularidades del financiamiento para proyectos hacen que este resulte difícil de estructurar y que a veces sea necesario complementarlo con financiamiento para empresas.

Financiamiento para proyectos

La estructura del financiamiento para proyectos generalmente incluye una sociedad de propósito específico, es decir, una entidad jurídica independiente que se establece con el propósito de ejecutar el proyecto. A través de este instrumento, se moviliza financiamiento mediante deuda de prestamistas y deuda o capital de los patrocinadores del proyecto. Dado que las sociedades con propósito específico son jurídicamente independientes de los patrocinadores del proyecto, se dice que los prestamistas tienen recurso limitado o nulo ante los patrocinadores con respecto a sus inversiones en deuda. El recurso limitado, que generalmente se emplea en el financiamiento, se refiere a situaciones en las que el recurso se limita a una suma monetaria fija o está sujeto a ciertos criterios de desempeño (por ejemplo, plazos y costos superiores a los previstos durante la construcción y déficits de ingresos o de efectivo durante las operaciones cuando los promotores comprometen más capital para el servicio de la deuda). En el caso del financiamiento para proyectos, las estructuras de crédito dependen principalmente de los flujos de efectivo del proyecto para el reembolso, y los activos, derechos e intereses se mantienen como fianza o garantía secundaria.

Una estructura en la que el Gobierno o el organismo de adquisiciones posee una parte e incluso la mayoría de las acciones de la sociedad de propósito específico mediante el cual se ejecuta el proyecto puede considerarse como una

CUADRO 10.3. Ventajas y desventajas del financiamiento de proyectos para las asociaciones público-privadas de transporte ferroviario urbano

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Exclusión del balance general. • Separa el perfil crediticio del proyecto del perfil crediticio de los promotores (la empresa del proyecto queda amparada frente al incumplimiento de los promotores). Asimismo, los promotores quedan desvinculados de las obligaciones del proyecto. • Puede lograr altos niveles de apalancamiento. • Puede crear mayores escudos fiscales debido al mayor apalancamiento, lo que puede reducir el costo total de capital. • Reduce la discrecionalidad administrativa sobre los flujos de efectivo disponible debido a las restricciones impuestas por el prestamista. • Ofrece mecanismos adicionales para distribuir los riesgos a través de la sindicación y la titulización. • Puede mejorar la calidad del proyecto gracias a la debida diligencia adicional del prestamista. • Puede promover una mayor transparencia para el otorgante con respecto a las operaciones y el desempeño financiero de la empresa del proyecto a través de los requisitos en materia de control y presentación de informes del prestamista; esto puede ser muy importante a la hora de evaluar los pagos relacionados con el desempeño y establecer o ajustar los niveles de las tarifas.	• Costos de transacción superiores a los del financiamiento para empresas. • Solo está disponible para proyectos de gran magnitud (> USD 100 millones, lo que no suele ser un problema en el caso de las iniciativas de transporte ferroviario urbano). • Requiere un mayor grado de debida diligencia y el tiempo que esto implica durante la estructuración. • Posibles cambios en los precios de la oferta cuando el precio final depende de las condiciones imperantes en el mercado crediticio (es decir, las tasas de interés), ya que las condiciones definitivas de financiamiento posiblemente no se establezcan hasta que se seleccione el licitante preferido. • Plazo prolongado entre la adjudicación de la oferta y el cierre financiero o el comienzo del proyecto debido a las complejidades de las estructuras de financiamiento de proyectos y los requisitos de documentación (habitualmente, alrededor de 12 meses, pero puede extenderse mucho más si la estructura del proyecto no es susceptible de recibir financiamiento); este plazo puede entrar en conflicto con los cronogramas políticos del proyecto o del otorgante.

forma de financiamiento privado siempre que "el sector privado tenga una participación significativa como inversionista en capital social (con una parte considerable de las acciones de capital) en la empresa del proyecto. Por lo tanto, el socio privado asume los riesgos del proyecto y participa considerablemente en la gestión de la empresa, o bien, la operación de la infraestructura y el financiamiento de la deuda están sujetos al riesgo de explotación" (BAsD y otros, 2016, 40). Esta estructura se utilizó en las APP establecidas para el desarrollo y la operación de sistemas de metro ligero en Tenerife y Zaragoza, España.

Financiamiento para empresas

Cuando los proyectos ferroviarios urbanos son financiados por empresas privadas (patrocinadores), estas empresas pueden optar por obtener financiamiento para el desarrollo del proyecto con el respaldo de su propio crédito

CUADRO 10.4. Ventajas y desventajas del financiamiento para empresas para las asociaciones público-privadas de transporte ferroviario urbano

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Costos de transacción más bajos debido a que la evaluación de riesgos crediticios se basa en el crédito del patrocinador, y no en el complejo riesgo crediticio del proyecto. • Es más simple, más fácil de obtener y más rápido de estructurar que el financiamiento para proyectos. • Requiere un menor grado de debida diligencia y el tiempo que esto implica debido a que los balances generales de los patrocinadores brindan seguridad adicional. • Según la calificación crediticia del patrocinador, puede ofrecer márgenes más bajos sobre la deuda. • Ofrece mayor flexibilidad para incorporar cambios (por ejemplo, renegociaciones).	• Pone en riesgo los activos y el balance general de los patrocinadores. • Coeficientes deuda-capital más bajos. • Generalmente, está disponible solo para inversiones de menor volumen. • No separa el perfil crediticio del proyecto del perfil crediticio del patrocinador y viceversa. • Es posible que limite el control público sobre las actividades de refinanciamiento y que impida el uso público compartido de los beneficios derivados del refinanciamiento. • Quizás genere menos beneficios en materia de transparencia del proyecto para las autoridades públicas que las estructuras de financiamiento para proyectos.

(véase el cuadro 10.4). A diferencia del financiamiento para proyectos, en los préstamos del financiamiento para empresas, la garantía del reembolso de la deuda se deriva de los balances generales de los patrocinadores o de otras garantías no relacionadas con el proyecto. Naturalmente, los patrocinadores intentan minimizar esta forma de financiamiento para no sobrecargar sus balances generales y tener la capacidad de invertir en otros proyectos, por encima de lo que podrían hacer con el financiamiento para empresas.

El mérito relativo de cada estructura depende del tamaño y el perfil de riesgo del proyecto en cuestión. Las inversiones en proyectos ferroviarios urbanos de gran magnitud y sin infraestructura previa, casi siempre adoptan alguna forma de financiamiento para proyectos para limitar la responsabilidad de los promotores y movilizar suficiente capital. Sin embargo, las inversiones de menor volumen en transporte ferroviario urbano, como ampliaciones o renovaciones menores, pueden basarse en el financiamiento para empresas, según su tamaño y alcance. Por ejemplo, el suministro y el mantenimiento de material rodante pueden financiarse utilizando el balance general de un contratista o un proveedor.

Bancabilidad

En los proyectos de APP, especialmente en los países de ingreso bajo y medio, los Gobiernos deben prestar especial atención a la bancabilidad. Esto hace referencia a la capacidad de un proyecto de ser aceptado por los prestamistas como una inversión o a la capacidad del proyecto de movilizar financiamiento a largo

plazo en función de su solvencia, habida cuenta de la suficiencia y la fiabilidad previstas de los flujos de efectivo futuros (BAsD y otros, 2016).

Los organismos de ejecución de proyectos deben planificar las necesidades de fondos y financiamiento en las primeras etapas para garantizar que el proyecto sea susceptible de recibir financiamiento y, al mismo tiempo, que se mantenga el nivel adecuado de incentivos para que el socio privado tenga un correcto desempeño. La estructura financiera de un proyecto generalmente se termina de definir en las últimas etapas de planificación y adquisiciones, después de que se han tomado muchas decisiones clave. La revisión de los procesos de aprobación pública y los convenios contractuales sobre la marcha puede generar importantes demoras y pérdida de la confianza cuando se modifican decisiones anteriores. Por lo tanto, es indispensable que en las primeras etapas del proceso decisorio se tengan en cuenta estas necesidades y su impacto en la futura estructura financiera y comercial del proyecto. Los eventos promocionales y otras iniciativas para sondear el interés del mercado pueden ayudar a los planificadores a tener una idea de la percepción de este acerca de las asignaciones de riesgos propuestas y otras características del proyecto.

Cuando se considera la posibilidad de utilizar financiamiento municipal o de empresas, la bancabilidad de un proyecto está determinada por el balance general del prestatario. Esta posibilidad se torna más compleja en las estructuras de financiamiento para proyectos en las que la capacidad del prestatario para atender el servicio de la deuda depende de la eficacia de los convenios contractuales y la solvencia de terceros, y el reembolso depende, en última instancia, de la capacidad de los patrocinadores para completar el proyecto y ponerlo en funcionamiento para recibir el beneficio de los pagos que efectúen los usuarios.

El término "bancabilidad" resume las percepciones del inversionista/prestamista y su voluntad de comprometer deuda o capital social para financiar un proyecto. Los inversionistas en capital social consideran la rentabilidad prevista, que depende de su capacidad de movilizar el mayor volumen de deuda posible. Los prestamistas consideran el saldo entre el capital y la deuda financiera del promotor (apalancamiento financiero). Si bien el financiamiento para proyectos tiene como fin maximizar el apalancamiento (la deuda generalmente es más barata que el capital), las necesidades de capital deben ser lo suficientemente importantes para garantizar que el compromiso del patrocinador haga que resulte demasiado costoso retirarse cuando surjan problemas en el proyecto. El apalancamiento máximo que los bancos aceptan está condicionado por la incertidumbre relacionada con los flujos de efectivo del proyecto; tanto es así que los proyectos con flujos de efectivo sujetos a un nivel más alto de riesgos económicos, crediticios o jurídicos demandan un mayor volumen de capital.

Desde el punto de vista de los prestamistas, la bancabilidad está determinada por la capacidad del proyecto para atender los pagos del servicio de la deuda

luego de cumplir con las obligaciones de O&M, lo que depende del volumen y la volatilidad de los ingresos y costos. Esta capacidad se mide a través del coeficiente de cobertura del servicio de la deuda, que se define, en términos generales, como el coeficiente de los ingresos del proyecto netos de gastos de operación sobre el servicio de la deuda (principal e intereses) en un período determinado. Los proyectos que pueden demostrar un coeficiente de cobertura del servicio de la deuda suficiente pueden acceder al endeudamiento a un costo relativamente menor[7]. Tener un monto de deuda menor generalmente dará como resultado un coeficiente de cobertura del servicio de la deuda aceptable.

La evaluación de la bancabilidad no se limita al análisis financiero, sino que considera cuatro criterios amplios: 1) solvencia crediticia, 2) viabilidad legal, 3) viabilidad económica, y 4) factibilidad técnica. Los prestamistas e inversionistas evalúan cada uno de estos criterios para estimar la bancabilidad de un proyecto y determinar su nivel de interés en dicho proyecto. En el cuadro 10.5 se incluye una lista de las principales preguntas que las entidades de financiamiento podrían formular para comprender mejor estos cuatro criterios.

CUADRO 10.5. Factores que influyen en la bancabilidad

ASPECTOS DEL PROYECTO	PREGUNTAS PARA DETERMINAR LA BANCABILIDAD
Solvencia crediticia	• ¿Los promotores del proyecto tienen la capacidad y los incentivos adecuados para ofrecer un desempeño operacional sostenible a largo plazo? ¿Obtienen un valor considerable a partir de actividades secundarias ajenas a la empresa concesionaria (por ejemplo, desarrollo inmobiliario local y contratos de construcción llave en mano)? • ¿El otorgante puede cumplir con sus obligaciones financieras en el marco del proyecto? • ¿Qué nivel de certeza existe con respecto a los ingresos del proyecto? ¿Quién asume el riesgo relacionado con el número de pasajeros y los ingresos tarifarios, y hasta qué punto son realistas las previsiones del número de pasajeros? • ¿Los flujos de efectivo del proyecto son suficientes para respaldar los niveles de deuda previstos? • ¿El proyecto se beneficia de alguna garantía soberana o del otorgante o de garantías o seguros sobre su deuda (por ejemplo, garantías parciales de crédito o riesgo y seguros contra riesgos políticos)? • ¿Existen suficientes reservas de capital para proteger a los prestamistas si disminuye el valor de la concesión? ¿Los promotores del proyecto se han involucrado lo suficiente (valor en riesgo)? • En caso de rescisión del contrato, ¿qué mecanismos garantizan el reembolso de la deuda? • ¿Los coeficientes financieros del proyecto cumplen con las expectativas de los prestamistas (por ejemplo, coeficientes de cobertura de principal e intereses, coeficiente de cobertura del servicio de la deuda, coeficiente de cobertura de vida del préstamo y relación entre deuda y capital)?

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 10.5. Factores que influyen en la bancabilidad *(Continuación)*

ASPECTOS DEL PROYECTO	PREGUNTAS PARA DETERMINAR LA BANCABILIDAD
Viabilidad legal	• ¿El otorgante tiene las facultades necesarias para otorgar la concesión o APP? • ¿Se necesitará legislación adicional para el proyecto (por ejemplo, una ley de APP)? • ¿Cuán sólidos son los mecanismos contractuales del proyecto con los proveedores de insumos (por ejemplo, los proveedores de material rodante)? • ¿Qué protecciones jurídicas o vías de recurso tienen los inversionistas en la jurisdicción del proyecto (por ejemplo, acceso al arbitraje estándar internacional)? • ¿Se aplican las decisiones judiciales en la jurisdicción del proyecto (imperio de la ley)? • ¿Cuán sólidos son los derechos de propiedad en la jurisdicción del proyecto? ¿Es factible una "recuperación" normativa si los niveles del número de pasajeros superan las estimaciones y los ingresos son muy superiores a los previstos?
Viabilidad económica	• ¿Existe un mercado para los servicios del proyecto? ¿El transporte ferroviario urbano ofrece suficiente valor a los clientes? • ¿Existen amenazas derivadas de servicios de la competencia (por ejemplo, autobuses) o de la obsolescencia tecnológica (por ejemplo, sistemas de emisión de boletos)? • ¿La ruta del sistema pasa por las zonas comerciales o centros de población a los que se intenta llegar? • ¿La normativa protege contra la amenaza de nuevos participantes del mercado? ¿Hasta qué punto es estable el entorno normativo? • ¿Los insumos del proyecto (por ejemplo, la electricidad) están disponibles a precios razonables? ¿Hasta qué punto son estables los suministros de insumos? ¿Los nuevos servicios de transporte ferroviario urbano necesitarán proveedores de insumos especializados (por ejemplo, una central eléctrica exclusiva)? • ¿Cuán estable es el entorno macroeconómico del proyecto? ¿Cómo se verían afectados los flujos de efectivo del proyecto por los cambios en la inflación, los tipos de cambio y las tasas de interés? ¿Cómo se mitigarán tales riesgos en el contrato? ¿Se han establecido líneas de crédito contingente para abordar posibles desfases entre las crisis financieras y los ajustes de las tarifas?
Factibilidad técnica	• ¿Se utiliza tecnología de probados resultados en el proyecto? • ¿Los costos de construcción son razonables y realistas? • ¿El cronograma de construcción y puesta en servicio es realista? • ¿Se hace un uso amplio de tecnologías propias en el marco del proyecto? • ¿Qué normas rigen la construcción de la obra civil, el material rodante, la señalización y los sistemas de comunicaciones? ¿Existen normas locales adecuadas o apropiadas? • ¿Hasta qué punto es flexible el diseño de los sistemas? ¿Se puede aumentar la capacidad del sistema mediante alteraciones simples de las configuraciones del material rodante? ¿El diseño de las estaciones y andenes permite ampliaciones? • ¿La solución tecnológica propuesta es adecuada para las condiciones locales y la disponibilidad o la escasez de mano de obra calificada?

Los organismos de ejecución de proyectos deben ponerse en el lugar de las entidades de financiamiento del sector privado y responder estas preguntas de manera creíble. La incapacidad para responder alguna de estas preguntas o las respuestas inciertas generarán inquietudes sobre la bancabilidad del proyecto, y las entidades de financiamiento del proyecto exigirán apoyo crediticio y mejoras crediticias. El apoyo y las mejoras pueden proporcionarse a través de los documentos del proyecto (acuerdo de APP) o de terceros, entre los que se incluyen instituciones financieras de desarrollo y BMD (véase la sección siguiente).

Instrumentos de apoyo y mejora crediticia

Los organismos de ejecución de proyectos de todo el mundo han recurrido a los instrumentos de apoyo y mejora crediticios para complementar recursos públicos limitados y aprovechar nuevas fuentes de financiamiento público o privado. Incluso cuando los proyectos se llevan a cabo con financiamiento público, los Gobiernos o los organismos de ejecución de proyectos ferroviarios urbanos pueden utilizar instrumentos de mejora crediticia para acceder a nuevas fuentes de financiamiento o reducir el costo y aumentar el plazo del financiamiento respecto de las condiciones que habrían podido obtener si hubieran intentado acceder al mercado por su cuenta.

Los instrumentos de apoyo y mejora crediticios pueden proporcionarse a través de ciertas disposiciones incluidas en los contratos del proyecto (convenios de APP o de préstamo), o a través de terceros que no sean signatarios del contrato, pero tengan un mandato de financiamiento a favor del desarrollo para respaldar el proyecto.

Disposiciones contractuales

Se dispone de diversas técnicas de eliminación de riesgos que pueden incorporarse en el mecanismo de pago de la APP o en otras disposiciones del contrato en virtud de compromisos específicos para facilitar el acceso al financiamiento a largo plazo o reducir el costo general de capital. Las mejoras contempladas en las disposiciones contractuales que pueden aumentar la bancabilidad incluyen la certeza de pago, los derechos de intervención, la compensación por rescisión y la garantía contra el riesgo cambiario.

Certeza de pago

Las cláusulas de certeza de pago aumentan la bancabilidad de los proyectos ferroviarios urbanos al ofrecer a los prestamistas mayores garantías de que el sector público realizará los reembolsos de la deuda o los pagos al socio privado.

La certeza de pago puede incluirse en los documentos del proyecto de varias formas:

- límites a las deducciones porcentuales que pueden aplicarse a la disponibilidad o los pagos por servicio (es decir, un 80 % fijo y un 20 % sujeto a deducciones), con lo que aumenta la certeza de flujo de efectivo;
- pagos del Gobierno fijos y diferidos que son incondicionales e irrevocables para remunerar las inversiones de capital realizadas por las partes del sector privado; algunos ejemplos de este mecanismo son las APP de transporte ferroviario de alta velocidad en Francia y España, y la estructura de RPI-CAO utilizada para financiar la APP de la línea 2 del metro de Lima (véase el recuadro 10.3);
- fondos garantizados para proporcionar seguridad a las obligaciones de pago del Gobierno en virtud del contrato de APP;
- el compromiso contractual de establecer cuentas de fondos en custodia o estructuras fiduciarias que asignen y reserven recursos públicos (por ejemplo, el cobro de tarifas) para proteger los flujos de efectivo disponibles para cumplir las obligaciones de pago en virtud de la APP;
- una garantía de ingresos mínimos para proteger a la empresa del proyecto contra disminuciones significativas del número de pasajeros por debajo del caso base; esto es equivalente al mínimo de las bandas de demanda que se han utilizado para distribuir el riesgo relacionado con el número de pasajeros en las APP de la línea Canadá de Vancouver y la línea 4 del metro de São Paulo (véase el capítulo 7).

Derechos de intervención

Los prestamistas y el otorgante pueden celebrar convenios directos con los participantes del proyecto en los que se estipulen derechos de intervención, requisitos de notificación, períodos de subsanación y otras cuestiones tendientes a mantener la continuidad del proyecto si la empresa del proyecto incurre en incumplimiento. Es posible que para un proyecto no se necesiten convenios separados cuando las disposiciones puedan incluirse en los documentos del proyecto pertinentes o cuando exista otro tipo de solución.

Compensación por rescisión

La compensación por rescisión se refiere a los mecanismos contractuales que garantizan la totalidad o un porcentaje determinado de la deuda pendiente en caso de rescisión anticipada, incluida la rescisión por incumplimiento del

socio del sector privado. En ocasiones, esto se denomina "respaldo de la deuda" (Farquharson y otros, 2011).

Garantía contra el riesgo cambiario

Es posible que se necesiten garantías contra el riesgo de fluctuaciones cambiarias, especialmente en el contexto del financiamiento transfronterizo (deuda en moneda extranjera). Estas garantías contractuales pueden adoptar diversas formas, por ejemplo, 1) revisiones de tarifas vinculadas con los movimientos del tipo de cambio en las APP de pagos por usuarios; 2) pagos de compensación del Gobierno para cubrir las pérdidas del socio del sector privado causadas por devaluaciones superiores a un umbral predefinido de tipo de cambio; 3) garantías directas del Gobierno para proteger a los prestamistas, y 4) la denominación parcial o total de los pagos en moneda extranjera (BAsD y otros, 2016). Los pagos denominados en dólares estadounidenses de la APP del proyecto de la línea 2 del metro de Lima son un ejemplo de esta última forma de garantía.

Instrumentos extracontractuales

Los Gobiernos y los promotores de proyectos también pueden optar por instrumentos extracontractuales (como garantías directas y explícitas para los prestamistas, garantías parciales de pago o préstamos públicos) que no solo constituyen medios de financiamiento adicionales, sino que también aumentan la calificación crediticia del proyecto. Estos instrumentos extracontractuales de mejora crediticia pueden ser proporcionados por Gobiernos, instituciones financieras de desarrollo u organismos de crédito a la exportación, en forma de apoyo crediticio o garantías de terceros.

Instituciones financieras de desarrollo

Las instituciones financieras de desarrollo (IFD) multilaterales y bilaterales son bancos o filiales de desarrollo especializados que se establecen para respaldar el desarrollo del sector privado en países de ingreso bajo y medio. Las IFD multilaterales son entidades de instituciones financieras internacionales que trabajan con el sector privado, como IFC del Grupo Banco Mundial y la Corporación Interamericana de Inversiones del Grupo del Banco Interamericano de Desarrollo. Las IFD bilaterales son instituciones independientes, como la Compañía Española de Financiación del Desarrollo (COFIDES) o la Empresa de Financiamiento para el Desarrollo de los Países Bajos, o bien, forman parte de bancos de desarrollo bilaterales más importantes, como la Sociedad Alemana de Inversión y Desarrollo del Banco Alemán de Desarrollo (OCDE, 2017).

Las IFD pueden ser un socio importante para la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio. Pueden ayudar a movilizar el apoyo de entidades de financiamiento comerciales para proyectos complejos en nuevos sectores. El financiamiento de las IFD se proporciona a empresas privadas en condiciones comerciales y a tasas de mercado; su objetivo no es reemplazar la disposición de los bancos comerciales para financiar un proyecto, sino atraer a las entidades de financiamiento comerciales que son nuevas en el país o el sector y pueden beneficiarse de la protección crediticia implícita en el financiamiento transfronterizo denominado en moneda fuerte.

Las IFD utilizan la estructura de préstamos A/B provista por IFC para atraer las inversiones privadas. En esta estructura, IFC retiene una parte del préstamo para su propia cuenta (el préstamo A) y vende participaciones en la parte restante (el préstamo B) a prestamistas comerciales (participantes). El prestatario del proyecto firma un solo convenio de préstamo con IFC, e IFC firma un acuerdo de participación con los participantes y es el único prestamista contractual (prestamista oficial) para el prestatario. Si bien IFC es el prestamista oficial, el prestatario está al tanto de la intervención de los participantes y toda la transacción es transparente. La estructura de préstamo A/B permite que los participantes se beneficien de la condición de institución multilateral de desarrollo de IFC. Todos los pagos, incluidos el principal, los intereses y las comisiones, se benefician de la condición de acreedor preferencial de IFC. Además, IFC se compromete con los participantes a asignar los pagos a prorrata entre los préstamos A y B. Como resultado, IFC no puede recibir el pago total hasta que todos los participantes reciban el pago total (IFC, 2017).

Las IFD también pueden respaldar el financiamiento de las APP a través de productos de mejora crediticia, como las garantías. IFC ofrece una garantía parcial de crédito que mejora el crédito de bonos y préstamos emitidos por prestatarios privados. Por ejemplo, en virtud de una garantía parcial de crédito, IFC puede asumir el compromiso irrevocable de pagar el principal, los intereses o ambos de la deuda emitida por una empresa del proyecto del sector privado hasta un monto predeterminado. Este compromiso de una institución que goza de la calificación triple A permite que los beneficiarios obtengan acceso a financiamiento a precios más bajos y a más largo plazo.

Organismos de crédito a la exportación

Los organismos de crédito a la exportación (ECA) promueven y facilitan la inversión extranjera y la exportación de bienes y servicios de las empresas de sus respectivas naciones. Estos organismos pueden proporcionar financiamiento y

garantías para beneficiar a las empresas privadas que participan en un proyecto como parte de una APP con financiamiento privado, o bien, otorgar financiamiento para la exportación para beneficiar a un proveedor de un proyecto ejecutado mediante adquisiciones públicas tradicionales.

En los proyectos ferroviarios urbanos, los ECA afiliados a Gobiernos de distintos países han respaldado el financiamiento de material rodante importado y de los sistemas de señalización y comunicación conexos originados en sus países. Si bien algunos ECA pueden proporcionar financiamiento de proyectos a través de bancos, la mayoría brinda apoyo financiero directamente a un comprador público mediante garantías para los banqueros del comprador (es decir, una forma u opción de financiamiento público). El financiamiento de los ECA puede adoptar la forma de garantías de préstamos o financiamiento directo, mientras que en el contexto más limitado del financiamiento privado en virtud de planes de APP dirigidos a financiar proyectos, los ECA pueden proporcionar seguros contra riesgos políticos para facilitar la inversión de capital social privado, mitigar el riesgo para los prestamistas de la sociedad de propósito específico u otorgar garantías del capital de trabajo.

La mayoría de los ECA de países miembros de la OCDE cumplen con el Acuerdo de la OCDE sobre Créditos a la Exportación con Garantía Oficial, en el que se establecen límites máximos sobre el monto de la asistencia que los Gobiernos extranjeros pueden ofrecer para respaldar sus exportaciones. En 2014, la OCDE emitió nuevas normas sobre el crédito a la exportación para el desarrollo del transporte ferroviario (OCDE, 2013). Estas normas amplían los plazos de reembolso para los contratos por un valor total de más de DEG 10 millones (10 millones de derechos especiales de giro, USD 15,3 millones) y se contempla el reembolso hasta 12 años para las operaciones en países de ingreso alto miembros de la OCDE y hasta 14 años para las operaciones en todos los demás países. En los países de ingreso bajo y medio, el financiamiento respaldado por ECA generalmente puede ofrecer mejores condiciones que el financiamiento comercial.

El financiamiento de ECA puede ser especialmente útil cuando los mercados locales de crédito están poco desarrollados o cuando los riesgos soberanos reducen el atractivo para el financiamiento privado. Asimismo, cuando se utiliza como parte de estructuras de financiamiento para proyectos, puede reducir los costos de los intereses y extender el plazo del financiamiento a un nivel que, de lo contrario, no estaría disponible para los patrocinadores del proyecto. En este sentido, en un proyecto en el que se necesita capital privado en forma de provisión de equipos y material rodante, se puede lograr una estructura de financiamiento más eficaz.

En diversos proyectos de países de ingreso bajo y medio, se ha utilizado financiamiento de ECA. En 2011, la autoridad de transporte público de Santo Domingo utilizó financiamiento de cuatro ECA para financiar la adquisición de equipos electromecánicos y material rodante (procedentes de Bélgica, Francia, Alemania y España) para la línea 2 del metro de la ciudad. En 2014, el Metro de Santiago de Chile (una empresa pública) obtuvo un préstamo comercial por un valor de USD 800 millones y financiamiento garantizado por ECA para equipos (incluido el material rodante) y sistemas para líneas nuevas (líneas 6 y 3) y existentes. El financiamiento de ECA también se ha utilizado para proyectos ejecutados en el marco de APP, como el metro de Lima, que incluyó un mecanismo de financiamiento a 20 años respaldado por ECA por un valor de USD 800 millones provisto por SACE, un ECA de Italia. En este caso, los ECA protegieron a los prestamistas contra el riesgo vinculado con la titulización de certificados de pago del Gobierno.

Apoyo crediticio

Algunos proyectos de APP de transporte ferroviario urbano se han financiado a través de préstamos del Gobierno otorgados mediante programas de asistencia crediticia. Prestar fondos públicos a los socios privados a tasas de interés en condiciones concesionarias puede ayudar a superar las desventajas derivadas del mayor costo del capital del sector privado. Sin embargo, los préstamos públicos favorables no pueden compensar las deficiencias fundamentales en la asignación de riesgos del proyecto; es posible que una empresa concesionaria siga siendo incapaz de atender el servicio de la deuda incluso con tasas de interés "favorables" más bajas. Por ejemplo, las concesiones STAR y PUTRA de Kuala Lumpur incorporaron préstamos "favorables" del Gobierno (Mandri-Perrott y Menzies, 2010). Sin embargo, el riesgo relacionado con el número de pasajeros se transfirió totalmente a los concesionarios; el número real de pasajeros fue inferior a lo previsto, y ambas empresas necesitaron rescates financieros del sector público (Phang, 2007).

Además de la asistencia crediticia directa, el financiamiento público puede proporcionarse a través de los bancos nacionales de desarrollo. El BNDES ha proporcionado financiamiento para el desarrollo de proyectos de metro ejecutados en el marco de APP en Brasil, incluidas las nuevas líneas de los metros de Salvador y São Paulo. En la estructura de financiamiento original de la línea 6 del metro de São Paulo, el BNDES no solo se comprometió a financiar la contribución de capital público del estado de São Paulo, sino también al consorcio privado al que se adjudicó el proyecto. El uso de préstamos del Gobierno para el financiamiento, tanto público como privado, redujo la posible mayor disciplina de mercado que generalmente aplican los prestamistas comerciales.

En el recuadro 10.7 se describe un instrumento utilizado en los Estados Unidos para respaldar las estructuras de financiamiento privado. El Gobierno brinda financiamiento y eleva la calificación crediticia de la deuda comercial proporcionando instrumentos financiados o no financiados con una menor prioridad de

RECUADRO 10.7.

Programa de asistencia de la Ley de Financiamiento e Innovación de Infraestructura de Transporte en los Estados Unidos

Mediante el programa de la Ley de Financiamiento e Innovación de Infraestructura de Transporte (TIFIA) del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, se proporciona asistencia crediticia pública para los proyectos de transporte elegibles, incluido el transporte ferroviario urbano. El programa de crédito TIFIA tiene como objetivo subsanar las deficiencias del mercado y movilizar un volumen considerable de inversiones conjuntas del sector privado mediante la provisión de capital suplementario y subordinado (Departamento de Transporte, 2017). El TIFIA se creó porque los Gobiernos estatales y locales que procuraban financiar proyectos de transporte de gran escala con los ingresos aportados por los usuarios, generalmente tenían problemas para obtener financiamiento a tasas razonables debido a las incertidumbres relacionadas con esos flujos de ingresos.

La asistencia crediticia puede proporcionarse en forma de préstamos, garantías de préstamos y líneas de crédito contingente. Está disponible para Gobiernos subnacionales, organismos estatales y socios privados en el marco de asociaciones público-privadas (APP). Los préstamos ofrecen condiciones de reembolso flexibles, con un plazo máximo de 35 años a partir de la fecha de terminación de una parte sustancial de las obras, con un período de gracia de 5 años. Las garantías de préstamos consisten en garantías de gran solvencia emitidas por el Gobierno federal de los Estados Unidos para los reembolsos de un prestatario a un prestamista no perteneciente al Gobierno federal. Por último, las líneas de crédito contingente son préstamos federales contingentes para complementar los ingresos del proyecto, si fuera necesario, durante los primeros 10 años de la operación del proyecto. El servicio de crédito del TIFIA está subordinado a los flujos de efectivo durante el reembolso, pero tiene un derecho de retención a favor de los acreedores prioritarios en caso de quiebra.

El apoyo del TIFIA se ha utilizado para financiar los proyectos de Dulles Corridor Metrorail y de la línea púrpura en la zona metropolitana de Washington, DC. En el caso de la línea púrpura, el Departamento de Transporte otorgó un préstamo por un valor de USD 874,6 millones a Purple Line Transit Partners, el socio privado del mecanismo de diseño, construcción, financiamiento, operación y transferencia en virtud del cual se ejecuta el proyecto. En el caso del corredor de Dulles, el Departamento de Transporte otorgó un préstamo de USD 403 millones al condado de Fairfax, un préstamo de USD 195 millones al condado de Loudoun, y un préstamo de USD 1200 millones a la Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington (WMATA), todas entidades públicas.

Fuente: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, 2017.

cobro a partir de los flujos de efectivo generados por el proyecto. Este apoyo es una forma de asistencia crediticia y de mejora crediticia (véase la sección siguiente sobre garantías de terceros).

Garantías de terceros

Las instituciones multilaterales también ofrecen garantías que se han utilizado para respaldar el financiamiento de proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio. Con estas garantías, se ha respaldado financiamiento nacional y subnacional, y también se pueden utilizar para mitigar los riesgos y mejorar el crédito del financiamiento privado o público.

Un ejemplo de una garantía de terceros para proyectos financiados por el sector público es la garantía de incumplimiento de obligaciones financieras soberanas (IOFS) provista por el Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones (MIGA). Las garantías de IOFS se han utilizado para financiar proyectos del metro en Panamá y Turquía, donde permitieron que esos proyectos obtuvieran financiamiento comercial de bancos internacionales con mejores condiciones —que no habría sido posible obtener en otras circunstancias— (véase el recuadro 10.8).

RECUADRO 10.8.

Garantías de IOFS del Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones para proyectos ferroviarios urbanos

En Turquía, con la cobertura de Incumplimiento de Obligaciones Financieras Soberanas (IOFS) del Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones (MIGA), se respalda la expansión del sistema del metro de Estambul, que reducirá el tráfico y la congestión, proporcionará un mejor acceso a los puestos de trabajo, y mejorará la calidad de vida en la zona metropolitana, que contiene el 18 % de la población de Turquía. En diciembre de 2010, el MIGA emitió un instrumento de IOFS para asegurar la garantía del municipio de Estambul de un préstamo por un valor de USD 19,5 millones otorgado por el banco WestLB de Alemania a la empresa Istanbul Electricity Tram and Tunnel en el marco del proyecto del metro de Otogar-Bağcılar-Ikitelli-Villa Olímpica. Este proyecto comprende la extensión del sistema de metro ligero desde la terminal central de autobuses hasta las zonas residenciales.

Posteriormente, el banco WestLB solicitó al MIGA una cobertura adicional por un préstamo mucho mayor. En este caso, WestLB AG, la sucursal de Londres, fue el líder de un consorcio de prestamistas en el proyecto de la extensión del metro de Kadıköy-Kartal-Kaynarca. Este proyecto incluye el primer

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 10.8.

Garantías de IOFS del Organismo Multilateral de Garantía de Inversiones para proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

sistema de metro subterráneo en la Estambul asiática, que finalmente se conectará con la parte europea de la ciudad. La primera etapa del proyecto comprende 22 kilómetros de líneas ferroviarias urbanas desde Kadıköy hasta Kartal e incluye la construcción de 16 estaciones de metro. En la segunda etapa, se extenderá la línea de metro en 4,5 kilómetros, desde Kartal hasta Kaynarca, y se construirá una zona de estacionamiento y mantenimiento.

El préstamo se otorgó al Municipio Metropolitano de Estambul, con la cobertura de IOFS del MIGA por un valor de USD 409,2 millones frente al riesgo de incumplimiento del municipio de su obligación de pagar el principal y los intereses adeudados al banco WestLB y los prestamistas. El proyecto demuestra que el MIGA puede cubrir el riesgo crediticio subsoberano sin necesidad de una garantía del Ministerio de Hacienda. La cobertura del MIGA permite que el Municipio Metropolitano de Estambul cubra el déficit de financiamiento de la primera etapa que se produjo como resultado del retiro de un prestamista clave y el financiamiento adicional necesario para la segunda etapa.

Además de la cobertura de las garantías IOFS, el MIGA también puede ofrecer seguros contra riesgos políticos, incluido el incumplimiento de obligaciones contractuales, para beneficiar a los inversionistas. El Banco Mundial y otros BMD ofrecen garantías parciales para respaldar el financiamiento privado o público. Con las garantías de pago del Banco Mundial, se pueden respaldar obligaciones de pago de los Gobiernos en el marco de APP de transporte ferroviario urbano, lo que mejora la solvencia crediticia del proyecto y permite acceder a financiamiento privado. El Banco Mundial también puede garantizar una parte de las obligaciones de deuda emitidas por una entidad gubernamental o una empresa estatal en conexión con el financiamiento de un proyecto ferroviario urbano.

Los organismos de ejecución de proyectos y los Gobiernos deben examinar con antelación la disponibilidad de estos instrumentos y cerciorarse de que puedan obtenerse de forma oportuna para ofrecerlos a los posibles prestamistas e inversionistas. Se debe convocar a los BMD y las IFD que proporcionan estos tipos de mecanismos de mejora crediticia con suficiente anticipación para garantizar que todo el proceso de debida diligencia y estructuración pueda llevarse a cabo antes de la solicitud de ofertas.

Conclusiones y recomendaciones

En resumen, es posible utilizar diversos instrumentos para financiar proyectos ferroviarios urbanos de gran magnitud que suponen un uso intensivo de capital. De hecho, en numerosos proyectos se emplea una combinación de diferentes instrumentos de financiamiento público y privado para minimizar el costo del capital comprometido para el proyecto (véase el recuadro 10.9).

Independientemente de la combinación de instrumentos que se utilice, es fundamental considerar la importancia de las estructuras de fondeo subyacentes y tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

RECUADRO 10.9.

Movilización de varios instrumentos de financiamiento: línea 2 del metro, Lima (Perú)

En virtud del plan de financiamiento para la línea del metro de Lima, el Gobierno financiará las obras que se ejecutarán y el material rodante que se adquirirá durante la primera etapa del proyecto, mientras que el concesionario financiará la segunda etapa, con lo que se reducirán los costos totales de financiamiento. En total, el financiamiento del proyecto incluirá bonos, préstamos bilaterales y de bancos multilaterales de desarrollo (BMD), préstamos de instituciones financieras de desarrollo (IFD) y préstamos comerciales, tanto en moneda nacional como extranjera, procedentes de los mercados bancarios y de capital.

Financiamiento público

El Gobierno de Perú recurrió a diversas fuentes para el financiamiento directo del proyecto:

- *Recursos propios.* El Gobierno financió algunos de los componentes del proyecto, principalmente, la reubicación de las redes de servicios públicos, con su propio presupuesto.
- *Préstamos de BMD.* El Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y la Corporación Andina de Fomento otorgaron préstamos por un valor de USD 750 millones para financiar la contribución de capital inicial del Gobierno.
- *Préstamos bilaterales.* En diciembre de 2016, el Gobierno anunció préstamos adicionales del Banco Alemán de Desarrollo y el Organismo Francés de Desarrollo por un valor de USD 200 millones y USD 126 millones, respectivamente, para financiar su contribución de capital inicial.

Financiamiento del concesionario

El plan de financiamiento del concesionario incluyó más de USD 2500 millones en financiamiento a plazo fijo, respaldado por las obligaciones de pago diferido del Gobierno de Perú y proporcionado por diferentes fuentes:

- *Bonos emitidos en los mercados de capital internacionales.* En junio de 2015, el concesionario colocó con éxito un bono de USD 1150 millones garantizado por valores respaldados por el Gobierno, denominado

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 10.9.

Movilización de varios instrumentos de financiamiento: línea 2 del metro, Lima (Perú) *(Continuación)*

retribución por inversiones-certificado de avances de obras (RPI-CAO), que se describe en el recuadro 10.3. El bono, cuyo plazo final de vencimiento es en 2034, tiene un rendimiento del 5,875 %.

- *Préstamos de IFD.* La institución del Banco Interamericano de Desarrollo que trabaja con el sector privado (actualmente, BID Invest) otorgó un préstamo comercial de USD 450 millones al concesionario (Metro de Lima Línea 2 S. A.).
- *Préstamos respaldados por organismos de crédito a la exportación (ECA) otorgados por bancos comerciales.* En octubre de 2015, el concesionario obtuvo financiamiento por un valor de USD 800 millones en forma de RPI-CAO con la garantía de SACE, un ECA de Italia, de los siguientes bancos: Cassa Depositi e Prestiti, KfW-Ipex, Société Générale, Banco Santander e Instituto de Crédito Oficial. El apoyo de SACE, que fue posible gracias a la presencia de empresas de Italia en el grupo concesionario, contribuyó a diversificar las fuentes de financiamiento.
- *Servicio financiero renovable para el impuesto sobre el valor agregado, de bancos comerciales locales.* En 2016, el concesionario también recibió un servicio financiero renovable para el impuesto al valor agregado, por un valor de USD 28 millones, para financiar la devolución del impuesto al valor agregado en que se incurrió como resultado del proyecto.
- *Préstamos comerciales.* Si bien se consideró que un préstamo comercial renovable a corto plazo para capital de trabajo formaba parte del paquete de financiamiento del concesionario, este servicio financiero nunca se concretó.

Centrarse en establecer una estructura de fondeo sólida para el proyecto y para todo el sistema de transporte urbano. Habida cuenta de la escasa capacidad de los proyectos ferroviarios urbanos para recuperar los gastos de capital a partir de las tarifas cobradas a los usuarios, el primer paso de todo plan de financiamiento debe ser ampliar y diversificar las fuentes que pueden utilizarse para obtener fondos. Las estructuras de financiamiento sólidas deben basarse en mecanismos adecuados de fondeo que incorporen fuentes de ingresos fiables y brinden suficiente seguridad a los prestamistas e inversionistas. Los mecanismos y las fuentes de fondeo de los diferentes niveles del Gobierno (nacional y local) deben ser claros y estar exentos del riesgo de injerencia política. Independientemente del método de ejecución de proyectos, la capacidad de movilizar financiamiento para uno o más proyectos nunca resolverá el problema de insuficiencia de fondos que afecta a la mayoría de los sistemas de transporte urbano y que amenaza su sostenibilidad a largo plazo.

Incorporar fuentes alternativas de fondos en el diseño del proyecto. La publicidad, el alquiler de espacios comerciales y los ingresos provenientes del desarrollo inmobiliario pueden complementar los ingresos tarifarios. A fin de estructurar los proyectos para aprovechar la captura del valor del suelo posiblemente se necesite 1) la inclusión de mandatos de desarrollo inmobiliario como parte de la misión de las empresas de metro recién creadas, y 2) la aprobación de reformas legales que permitan aplicar nuevos cargos que puedan destinarse a estos costosos proyectos.

Utilizar el cofinanciamiento público de forma tal que pueda disminuir efectivamente el costo del capital sin reducir los incentivos al desempeño. Si bien las autoridades públicas recurren cada vez más a las APP para ejecutar proyectos ferroviarios urbanos, no todos los proyectos que se ejecutan de esta manera podrán obtener la mayoría del financiamiento del sector privado. La mayor parte de los proyectos ferroviarios urbanos necesita un volumen importante de fondos públicos debido a que sus altos costos de ejecución no pueden ser cubiertos en su totalidad por las fuentes del sector privado. Los intentos por implementar concesiones de transporte ferroviario urbano estrictamente privadas no han tenido buenos resultados, y el sector público tuvo que salir al rescate de algunos proyectos con problemas (Mandri-Perrott y Menzies, 2010).

El financiamiento para proyectos (en virtud de estructuras de APP) también requiere de contribuciones financieras públicas considerables en la etapa inicial (es decir, financiamiento en forma de subvenciones o "cofinanciamiento puro"). La provisión de cofinanciamiento público al inicio reduce el costo total de capital y se traduce en volúmenes de inversión privada más razonables. En los mercados muy sofisticados, la estructura de financiamiento más común de las APP es aquella en la que la mayoría del financiamiento proviene directamente del Gobierno en forma de subvenciones o pagos exentos de riesgos. En otros países, la regla tácita es que la combinación incluya, al menos, un 30 % de financiamiento público.

Preparar los proyectos para garantizar que sean elegibles para obtener ayuda de las principales fuentes de financiamiento internacional para el desarrollo. En general, para el financiamiento de proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio, se ha necesitado la participación de numerosos BMD y fuentes bilaterales. Los Gobiernos y los organismos de ejecución que contemplan la posibilidad de obtener el respaldo de estas instituciones deben realizar una planificación anticipada para cerciorarse de que los proyectos se ejecuten de acuerdo con los requisitos en materia de gestión social, ambiental, fiduciaria y de adquisiciones de estas instituciones.

Considerar diversos instrumentos de financiamiento e implementarlos en los casos en que sea más adecuado. Habida cuenta de la multiplicidad de

componentes y fuentes de financiamiento de proyectos ferroviarios urbanos, es importante definir en las primeras etapas del proyecto una estructura de financiamiento que combine diferentes fuentes y tipos de financiamiento de la manera más eficaz en función de los costos. Por ejemplo, cuando los proyectos se ejecutan en virtud de una APP de equipamiento, operación y transferencia en la que la obligación de capital privado adopta la forma de inversión en material rodante y equipos (véase el capítulo 8), se puede eliminar el financiamiento para proyectos, que es costoso y está expuesto al riesgo de construcción, y centrarse en el financiamiento respaldado por ECA vinculado con la provisión de trenes y equipos. En general, el financiamiento para proyectos puro quizás no sea factible, por lo que deben considerarse otras opciones que incluyan una combinación de financiamiento público y privado.

Notas

Los autores desean agradecer a Miguel Soriano y Ramiro Alberto Ríos del Banco Mundial y Andrés Rebollo de K-Infrastructure por sus contribuciones de contenido, y a los revisores Martha Lawrence del Banco Mundial, Navaid Qureshi de la Corporación Financiera Internacional (IFC), e Yves Amsler y Dionisio González de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. Esta tasa media de recuperación de los ingresos tarifarios es ligeramente menor que el promedio de los metros de CoMET y Nova, donde los sistemas de los países de ingreso alto están excesivamente representados.
2. En Brasil, los metros operados por el sector público producen ingresos comerciales no tarifarios equivalentes a aproximadamente el 5 % de los ingresos tarifarios. Esta cifra es muy inferior al 15 % que han informado algunos metros operados por el sector privado.
3. Por ejemplo, la empresa Metro de Bogotá se creó con el mandato específico de aprovechar las oportunidades de captura de valor del suelo (CVS).
4. Una entidad privada es una entidad jurídica que 1) lleva a cabo actividades comerciales o se establece a tal fin y 2) es autónoma, tanto desde el punto de vista financiero como administrativo, del Gobierno nacional o local. Algunas entidades públicas que están organizadas con autonomía financiera y administrativa se cuentan como entidades privadas. Otros ejemplos comprenden los bancos comerciales registrados, las compañías de seguros, los fondos soberanos de riqueza y los inversionistas institucionales que invierten principalmente con fines comerciales (Banco Mundial, 2017).
5. Los principales BMD son el Banco Africano de Desarrollo, el Banco Asiático de Desarrollo, la Corporación Andina de Fomento-Banco de Desarrollo de América Latina, el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD), el Banco Europeo de Inversiones, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Islámico de Desarrollo y el Banco Mundial.
6. Si el patrocinador emite el bono, el financiamiento se considera financiamiento para empresas. Si la empresa del proyecto emite el bono, se considera financiamiento para proyectos.
7. Para obtener información y datos específicos sobre los coeficientes de endeudamiento y la bancabilidad, véase el anexo "Project Finance" de la publicación *The EPEC PPP Guide* (http://www.eib.org/epec/g2g/annex/1-project-finance/) o el artículo *Key Issues in Developing Project Financed Transactions* (http://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/financing/issues-in-project-financed-transactions).

Bibliografía

Banco Asiático de Desarrollo (BAsD), Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco Islámico de Desarrollo (BIsD), Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN), Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada (PPIAF) y Banco Mundial (2016), *Guía de Certificación de APP*, Washington, DC: Banco Mundial. https://ppp-certification.com/ppp-certification-guide/about-ppp-guide

Anderson, Richard J., Nicholas S. Findlay y Daniel J. Graham (2012), "Improving Fares and Funding Policies to Support Sustainable Metros", articulo presentado en la 91.ª Reunión Anual, Junta de Investigación sobre Transporte, Washington, DC, 23 de enero.

Ardila-Gómez, Arturo y Adriana Ortegón-Sánchez (2016), *Sustainable Urban Transport Financing from the Sidewalk to the Subway: Capital, Operations, and Maintenance Financing*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23521

Brage-Ardao, Rubén, Daniel J. Graham y Richard J. Anderson (2015), "Determinants of Train Service Costs in Metro Operations", *en Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2534: pp. 31-37.

Center for Neighborhood Technology (2013), *The New Real Estate Mantra: Location Near Public Transportation*, Washington, DC: Asociación Estadounidense de Transporte Público (APTA) y National Association of Realtors. https://www.nar.realtor/reports/the-new-real-estate-mantra-location-near-public-transportation.

Iniciativa de Bonos Climáticos (2017), *Green City Bonds: Financing Low Carbon Urban Infrastructure*, reseña informativa, Iniciativa de Bonos Climáticos, Londres.

Comunidad de Metros (CoMET) y Nova (2015), *Initiatives for Increasing Primary Revenue from Passengers*, CoMET y Nova, Londres, http://cometandnova.org/research-initiatives-for-increasing-primary-revenue-from-passengers/.

Farquharson, Edward, Clemencia Torres de Mästle, Edward Raymond Yescombe y Javier Encinas (2011), *How to Engage with the Private Sector in Public-Private Partnerships in Emerging Markets,* Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/995241468337913618/How-to-engage-with-the-private-sector-in-public-private-partnerships-in-emerging-markets.

Goetz, Edward G., Kate Ko, Aaron Hagar, Hoang Ton y Jeff Matson (2010), *The Hiawatha Line: Impacts on Land Use and Residential Housing Value*, informe del Centro de Estudios de Transporte 10-04, Minneapolis, MN: Universidad de Minnesota, https://www.valleymetro.org/sites/default/files/legacy-images/uploads/lightrail_publications/CTS_Report_10-04_The-Hiawatha-Line.pdf

Corporación Financiera Internacional (IFC) (2017), *B Loans*, IFC, Washington, DC, https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/corp_ext_content/ifc_external_corporate_site/solutions/products+and+services/syndications/b-loans

Maier, Thomas (2015), "Towards an Effective PPP Business Model: An Eight-Point Plan for Closing the Infrastructure Gap", en *Infrastructure & Public-Private Partnerships* (blog), 15 de septiembre, http://blogs.worldbank.org/ppps/toward-effective-ppp-business-model-eight-point-plan-closing-infrastructure-gap

Mandri-Perrott, Cledan y Iain Menzies (2010), *Private Sector Participation in Light Rail–Light Metro Transit Initiatives*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/355141468323976491/Private-sector-participation-in-light-rail-light-metro-transit-initiatives

Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina (2015), *Alternative Funding and Financing Mechanisms for Passenger and Freight Rail Projects*, Washington, DC: National Academies Press, https://doi.org/10.17226/22149

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2013), *Sector Understanding on Export Credits for Rail Infrastructure*, OCDE, París, http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=tad/pg(2013)14/Final&doclanguage=en

——— (2015), *Official Development Finance for Infrastructure: Support by Multilateral and Bilateral Development Partners: OECD Report to G-20 Finance Ministries and Central Bank Governors*, OCDE, París, http://www.oecd.org/g20/topics/development/Official-Development-Finance-for-Infrastructure.pdf.

——— (2017), *Development Finance Statistics* (base de datos), París: OCDE, Instituciones financieras de desarrollo y desarrollo del sector privado, http://www.oecd.org/dac/stats/development-finance-institutions-private-sector-development.htm.

Peterson, George E. (2008), *Unlocking Land Values to Finance Urban Infrastructure*, en Trends and Policy Options 7, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6552

Phang, Sock-Yong (2007), "Urban Rail Transit PPPs: Survey and Risk Assessment of Recent Strategies", *en Transport Policy* 14 (3): pp. 214–31.

Pulido, Daniel e Irene Portabales (2015), "Boosting Mass Transit through Entrepreneurship: Going beyond Subsidies to Reduce the Public Transport Funding Gap", en *Connections: Transport and ICT 6*, Banco Mundial, Washington, DC.

Companhia do Metropolitano de São Paulo (2014), *Management Report 2014*, Companhia do Metropolitano de São Paulo, São Paulo.

Shoup, Donald (2005), *The High Cost of Free Parking,* Chicago, IL: American Planning Association.

Standard & Poor's Ratings Services (2015), *Lima Metro Line 2 Finance Ltd*, reporte de calificación de preventa, McGraw Hill Financial, Nueva York, https://www.spratings.com/documents/20184/86990/Lima%2BMetro%2B2015-1/e71eb806-3fac-43c5-8f20-89c8baf296dd

Estado de California (2017), *California Climate Investments: Transportation & Sustainable Communities.*

Suzuki, Hiroaki, Jin Murakami, Yu-Hung Hong y Beth Tamayose (2015), *Financing Transit-Oriented Development with Land Values: Adapting Land Value Capture in Developing Countries*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21286.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (2016), *Roadmap to $100 Billion*, CMNUCC, Bonn, https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/climate-finance-roadmap-to-us100-billion.pdf

Departamento de Transporte de los Estados Unidos (2017), *TIFIA Credit Program Overview*, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Washington, DC.

Banco Mundial (2015), *Evaluation of Land Value Capture Potential Associated with the Development of the First Line of the Bogota Metro*, Banco Mundial, Washington, DC.

——— (2017), *Joint MDB Reporting on Private Investment Mobilization: Methodology Reference Guide*, Grupo Banco Mundial, Washington, DC.

Banco Mundial y Centro de Estrategia Ferroviaria y Transporte (RTSC) en Imperial College London (2017), "The Operator's Story: Emerging Findings", presentación en el "Foro Internacional del Transporte", Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Leipzig, Alemania, del 31 de mayo al 2 de junio, https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/The-Operator%27s-Story---Emerging-Findings---Leipzig-May-2017.pdf

Lecturas adicionales

Banco Mundial (2017), *Railway Reform: Toolkit for Improving Rail Sector Performance (inglés)*, segunda edición, Washington, DC: Grupo Banco Mundial, https://ppiaf.org/ppiaf/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/railways_toolkit/index.html.

11 PREPARACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN

Sofía Guerrero Gámez, Joanna Moody y Ramón Muñoz-Raskin

Prepararse para la construcción durante la planificación y el diseño de un proyecto ferroviario urbano es fundamental para gestionar el cronograma de ejecución, los costos, los riesgos y los impactos socioeconómicos del proyecto. Muchas de estas consideraciones surgen porque la construcción se desarrolla en zonas urbanas densamente pobladas donde las interacciones con la comunidad afectada se multiplican. Independientemente del trazado en alzado o el método utilizado, la construcción en estos entornos urbanos puede interferir con la infraestructura existente de los servicios —como el agua, la electricidad y los residuos—, generar movimientos en el terreno que pondrían en riesgo la integridad estructural de los edificios cercanos, y limitar el tránsito de bienes y personas en las inmediaciones de las obras en construcción. Por estas razones, los proyectos ferroviarios urbanos se deben planificar (véanse los capítulos 3 y 4) y diseñar (véanse los capítulos 5 y 6) cuidadosamente, teniendo en cuenta todos los posibles impactos adversos asociados a la construcción (véanse los capítulos 14 y 15). Es importante crear el entorno institucional adecuado para gestionar el desarrollo del proyecto durante la construcción y supervisar la gestión de activos y la operación (véase el capítulo 12). Las actividades de construcción se deben llevar a cabo

Fotografía: Instalación de cabezal cortador de tuneladora de Crossrail en Westbourne Park, 2012. *Fuente:* © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

de manera tal que se garantice la ejecución en plazo del proyecto y se respalde la operación a largo plazo del sistema (véase el capítulo 13).

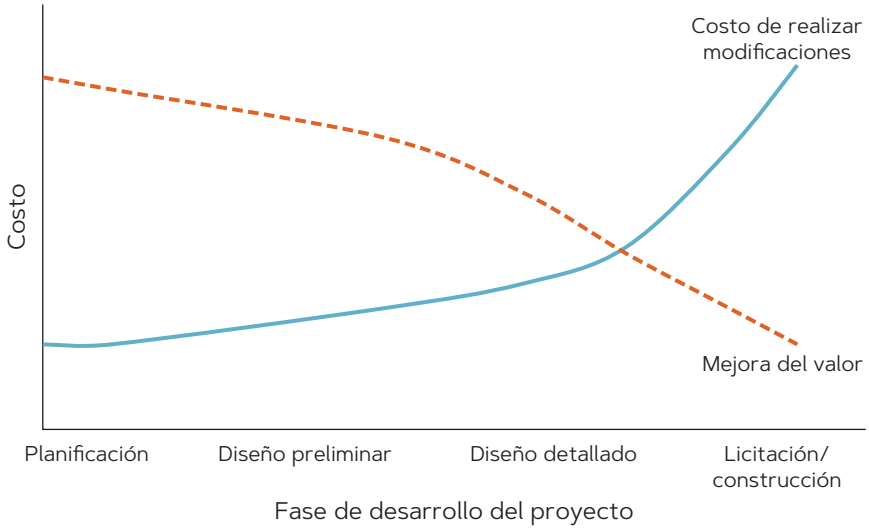
La naturaleza y la magnitud del impacto de la construcción dependerán del diseño del proyecto, especialmente en lo que respecta al trazado en planta (o vía segregada) y en alzado (ya sea que el sistema se construya a nivel, elevado o subterráneo). En muchos sistemas ferroviarios urbanos, es posible que las líneas tengan tramos de diferente trazados en alzado (por ejemplo, tramos subterráneos en zonas densas del centro y tramos elevados o a nivel en áreas más suburbanas y/o conexiones con aeropuertos). Cada tramo requiere un método de construcción y de secuencia de obra diferente. Además, la construcción de ferrocarriles urbanos casi siempre se debe gestionar mediante múltiples contratos de obra civil, material rodante, y sistemas mecánicos y eléctricos y de otro tipo. Todos estos elementos son interdependientes y se deben diseñar e implementar de tal manera que funcionen de forma conjunta (véase el capítulo 5). La gestión minuciosa de las interfaces y del proyecto es fundamental desde la etapa de planificación hasta la de construcción (véase el capítulo 4).

En este capítulo, los responsables de la toma de decisiones de los proyectos encontrarán un breve resumen de los numerosos estudios previos necesarios para comprender el impacto de la construcción de ferrocarriles urbanos sobre el entorno urbano y para tomar las mejores decisiones respecto de los diferentes métodos constructivos. Muchos de los estudios que se analizan en este capítulo se basan en estudios preliminares que se llevan a cabo durante el análisis de alternativas (capítulo 3) y el diseño del proyecto (capítulo 5), con suficientes detalles adicionales como para respaldar las actividades de construcción. En este capítulo se destaca la importancia de la participación de las partes interesadas y de la gestión activa e informada del organismo de ejecución del proyecto durante las fases de construcción, e incluso una vez realizada la licitación del proyecto. Es fundamental garantizar en todo momento la seguridad y protección tanto del personal de obra como de los habitantes afectados por el proyecto. En los tramos finales se analizan las consideraciones especiales necesarias y los métodos constructivos disponibles para los tramos a nivel, elevados y subterráneos.

Estudios previos

Muchas de las decisiones que se toman en las primeras etapas del desarrollo del proyecto afectarán la viabilidad de la construcción, el cronograma de obra, los costos, y los métodos constructivos del proyecto. Por lo tanto, es importante que el organismo de ejecución del proyecto invierta tiempo y dinero en la

GRÁFICO 11.1. Costo de la curva de cambios de diseño

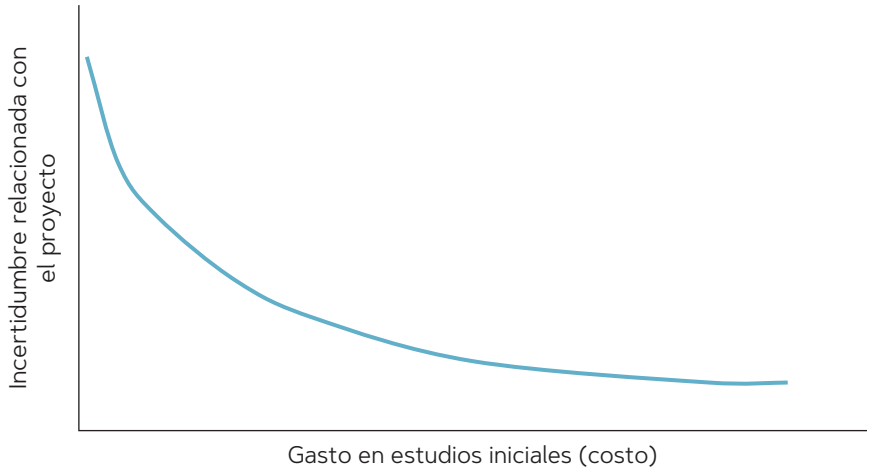


realización de estudios preliminares de alta calidad sobre las condiciones locales que orienten la planificación y el diseño del proyecto para la licitación y la construcción. A medida que el proyecto avanza, resulta mucho más difícil modificar el diseño o la ejecución, y el valor (neto) de las mejoras al diseño comienza a depreciarse (véase el gráfico 11.1). Los obstáculos que se identifican durante la construcción y los consiguientes cambios en el diseño implicarán un mayor costo y tendrán un impacto mayor en el cronograma del proyecto que si se hubieran identificado y mitigado antes de la ejecución. Cuanto más detallados sean los estudios preliminares, mejor se puede planificar y diseñar la ejecución del proyecto desde el principio. La experiencia práctica muestra que, cuando no se llevan a cabo dichos estudios, existe un mayor riesgo de demoras imprevistas o costos superiores a los previstos.

Cada proyecto ferroviario urbano es único e implica un alto nivel de riesgo. Cuanto mejor sea la calidad de los estudios, menores serán los riesgos y la incertidumbre en lo que respecta al diseño y los métodos constructivos (véase el gráfico 11.2).

Los estudios mencionados en esta sección son necesarios para cualquier proyecto ferroviario urbano, si bien en algunos casos se necesitaría un mayor nivel de detalle dependiendo del trazado en alzado y del método constructivo que se seleccione para el proyecto. Estas consideraciones específicas para cada caso se discuten más adelante en el capítulo, en los apartados sobre construcción de ferrocarriles urbanos a nivel, elevado o subterráneo.

GRÁFICO 11.2. Relación entre el riesgo y los recursos invertidos en los estudios preliminares del proyecto



Investigación geotécnica del emplazamiento

La investigación del emplazamiento permite determinar las propiedades del suelo y de las rocas desde el punto de vista de la ingeniería, y la manera en que dichas propiedades interactuarán con la construcción planificada. Con la investigación del terreno se establecen parámetros para el diseño de la cimentación, la subestructura y la infraestructura, y se evalúan los posibles riesgos geotécnicos, geoambientales, geológicos e hidrológicos para las personas, los bienes y el medio ambiente (RSA Geotechnics, s. f.). El diseño y el alcance de cada campaña de investigación dependerán de las condiciones específicas del lugar (como la geología anticipada, el uso anterior de la zona y el nivel de riesgo sísmico) y del diseño y el método constructivo propuestos. En particular, cuando se estudian emplazamientos que presentan condiciones inestables del suelo o donde está previsto construir tramos subterráneos, se requiere un mayor nivel de detalle.

La investigación geotécnica suele llevarse a cabo en diferentes etapas, como, por ejemplo, las siguientes:

1. Recopilación y análisis bibliográfico, y visita de reconocimiento
2. Investigación de campo, toma de muestras y análisis
3. Informe (interpretativo)
4. Diseño de la estrategia de restitución, de ser necesaria

5. Validación y seguimiento de las medidas de restitución durante la construcción
6. Seguimiento de la infraestructura y los edificios, según sea necesario, durante los primeros 5 a 10 años de operación

En los análisis teóricos se recogen y analizan datos relevantes, incluida toda la información geotécnica existente y antiguas fotos aéreas, que pueden aportar información sobre las zonas de rellenos. Se toma nota cuidadosamente de los obstáculos o las características del suelo que se deben reparar, como cimentaciones existentes, sótanos, minas abandonadas y tanques clandestinos con posibles contaminantes. En estos estudios se identifican las áreas operativas preliminares, se desarrollan planes factibles de ingeniería, se evalúa el nivel de riesgo sísmico y se diseñan campañas de sondeo adecuadas antes de las investigaciones de campo.

En esta recopilación y análisis bibliográfico se toma nota del número de investigaciones de campo, así como de su ubicación, y se toman muestras de los sondeos y las calicatas. La densidad del muestreo dependerá del diseño del sistema, teniendo en cuenta que los sistemas a nivel requerirán relativamente pocas muestras y los sistemas subterráneos requerirán una mayor cantidad de sondeos. En caso de que se produzcan hallazgos imprevistos, es posible que se deba modificar el alcance de la campaña de investigación, e incluso el diseño y las obras de construcción propuestos.

A partir de las mediciones de campo se elabora un informe interpretativo, que incluye recomendaciones sobre el diseño de los cimientos y otras consideraciones de ingeniería geotécnica. Desde el punto de vista técnico, el informe geotécnico debe tener la mayor exactitud posible, dado que el diseño estructural depende, en parte, de las condiciones geotécnicas. Esta precisión, que aumenta con la densidad de los sondeos de campo y los análisis de laboratorio, es proporcional al costo. Por lo tanto, se debe buscar un equilibrio entre la incertidumbre y el costo del estudio. Sin embargo, los costos de estos estudios iniciales suelen ser mucho menores que los costos que supone la incertidumbre o modificar el diseño del proyecto después de iniciados los procesos de licitación y construcción. La experiencia internacional destaca la importancia de invertir en investigaciones geológica, geotécnica y geofísica antes de iniciar el diseño de ingeniería.

La elaboración del informe geotécnico interpretativo y el diseño de estrategias de restitución deben estar a cargo de equipos experimentados, supervisados por expertos geotécnicos externos. Este informe se convierte en un documento contractual clave para asignar los riesgos geotécnicos durante el proceso de licitación (véase el capítulo 7), dado que ayuda a definir qué riesgos asume el organismo de ejecución del proyecto y cuáles el contratista (véase el capítulo 8).

Estudio ambiental, de salud y de seguridad

A fin de llevar adelante planes complementarios de mitigación y gestión, se debe elaborar un estudio ambiental, de salud y de seguridad (MASS), acompañado por una evaluación del impacto social (EIS). Este estudio MASS debería incluir lo siguiente:

- un inventario de los árboles que pueden verse afectados por el proyecto;
- una evaluación cuidadosa del impacto causado por el ruido, el polvo y las vibraciones;
- una investigación de los posibles sitios para extraer materiales y sitios para la eliminación o reutilización de la tierra extraída;
- un análisis del agua subterránea y los efectos del bombeo antes de la construcción;
- una evaluación de las responsabilidades ambientales causadas por la contaminación del suelo o el agua subterránea (véase el capítulo 15).

Restitución de suelo contaminado y gestión de residuos

Las áreas más importantes de un estudio MASS de proyectos ferroviarios urbanos son el estudio de las ubicaciones para la eliminación o la reutilización de la tierra excavada y la evaluación de la contaminación del suelo y el agua subterránea. El tratamiento de las áreas contaminadas puede ser un proceso largo y costoso que se debe completar antes de comenzar la construcción.

Con frecuencia, los trazados del transporte ferroviario urbano atraviesan zonas cercanas a estaciones de combustible existentes o antiguas, y es posible que el suelo esté contaminado debido a tanques clandestinos o fugas de combustible. De manera similar, los patios de maniobras suelen estar ubicados en antiguas zonas de vertido recuperadas y otros terrenos que pueden conllevar riesgos ambientales. Además, el bombeo de agua potencialmente contaminada con la descarga de agua desde la obra directamente a la red de alcantarillado urbano puede generar un desequilibrio en los sistemas de purificación de agua de la región. Todos estos problemas pueden llevar a que sea necesario realizar importantes tratamientos del suelo y del agua que, si no se investigan y se gestionan en las etapas iniciales, pueden afectar el camino crítico de la ejecución del proyecto.

La contaminación del suelo y del agua puede requerir importantes medidas de restitución. Si esta contaminación se conociera de antemano, el costo y el tiempo que implican las medidas de tratamiento se podrían incorporar en la secuencia de construcción, y en los contratos celebrados a tal fin se podrían

definir claramente los roles y las responsabilidades financieras para la restitución. Sin embargo, si no se llevan a cabo detallados estudios ambientales, geotécnicos e hidrológicos, estos problemas podrían surgir una vez comenzada la construcción, lo que generaría costosas demoras del proyecto y posibles disputas contractuales. Por lo tanto, a la hora de secuenciar las obras de construcción es fundamental prestar atención a los trazados iniciales y a estudios MASS con el fin de ahorrar tiempo y dinero.

Seguridad

Todos los riesgos de seguridad potenciales o percibidos se deben mitigar de manera proactiva. La seguridad de los transeúntes (los ciudadanos) y de los trabajadores deberá de ser considerada cuidadosamente desde el proceso de diseño y durante la construcción del sistema. Se deben vallar los emplazamientos de las obras y se deben marcar las deviaciones para que los peatones no pasen o traspasen a la zona de construcción ni a las áreas con tránsito de vehículos. Además, para garantizar la seguridad de los trabajadores se debe prever la secuencia de las actividades de construcción, el diseño adecuado y los trabajos temporales, así como la capacitación y la dotación de trabajadores. El personal de obra debe ser consciente de todos los riesgos relacionados con sus tareas, debe contar con equipos de protección personal adecuados, y debe saber cómo actuar y trabajar de manera segura en la zona de construcción. Se debe implementar un sistema de gestión e inspección de salud y seguridad para supervisar y corregir cualquier problema de seguridad tanto para trabajadores como para residentes durante la construcción (véase el capítulo 15).

Evaluación del impacto social

En los proyectos de gran envergadura, sobre todo en entornos urbanos densamente poblados, la construcción genera impactos importantes en las comunidades circundantes. Las partes que se encuentren a lo largo del derecho de vía del proyecto, alrededor de las estaciones y adyacentes a otros emplazamientos de construcción pueden verse afectadas negativamente por varios factores, entre ellos los siguientes:

- ruido, vibraciones y polvo;
- difícil acceso a las propiedades y a los negocios (con la correspondiente pérdida de ingresos);
- interrupción del tráfico;
- el "efecto barrera", que se produce cuando la infraestructura genera una división entre un lado de la comunidad y otro.

La afluencia de trabajadores a la zona del proyecto también puede añadir presión sobre el mercado local de vivienda y generar conflictos con la comunidad local. Además, algunos de los impactos sociales, como el ruido, las vibraciones y el efecto barrera, pueden persistir después de la etapa de construcción y seguir durante la etapa de operación. Estos impactos sociales se deben identificar, anticipar y mitigar durante la planificación y el diseño del proyecto (véase el capítulo 14).

El organismo de ejecución del proyecto debe realizar un inventario a nivel de corredor y a nivel de la estación de los negocios y edificios existentes en todo el trazado. En este inventario se debe documentar la ubicación de los edificios y las estructuras, su tipo (es decir, si son permanentes, semipermanentes o temporales; de alta elevación o de baja elevación), la superficie que ocupan, los materiales de construcción y las condiciones existentes. Aunque durante el diseño preliminar del proyecto se haya preparado un inventario a menor escala a fin de prever posibles impactos sociales, como reubicaciones o desplazamiento económico (véase el capítulo 14), se deberá llevar a cabo un estudio más detallado junto con el diseño final para preparar la construcción. A partir de este inventario, es posible determinar el riesgo de daños al que está expuesto cada edificio dependiendo, entre otras cosas, de la profundidad de sus cimientos, la antigüedad y los materiales de construcción. Se debe prestar especial atención a los edificios de importancia histórica y cultural (véase el capítulo 14). Este tipo de inventario es una herramienta útil para la gestión de proyectos, dado que ayuda a asignar recursos limitados para mitigar el asentamiento de estructuras de alto riesgo o gran importancia a lo largo del trazado y puede ofrecer protección contra posibles reclamaciones de daños. El tiempo necesario para realizar un inventario de los negocios locales, los edificios y el patrimonio arqueológico y paleontológico de todos los emplazamientos se debe incluir en el cronograma de los trabajos/programa de obras.

La participación y el contacto con la comunidad son clave durante la planificación y la construcción. Además de establecer un mecanismo de atención de quejas y reclamos, las alteraciones se deben comunicar de manera oportuna y a la hora de tomar medidas de mitigación se deben tener en cuenta las opiniones recibidas de los residentes locales. Aunque la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos tiene consecuencias sociales, la participación de la comunidad en el desarrollo del proyecto puede ser una oportunidad para generar apoyo entre sus miembros. Muchas iniciativas, como concursos para seleccionar nombres o diseños, talleres públicos y visitas escolares pueden ayudar a conectar la comunidad con el proyecto. Además, los servicios claves proporcionados a la comunidad, como los centros de salud locales y las escuelas cercanas a los emplazamientos de las obras, deben recibir un tratamiento especial para poder

mantener sus puertas abiertas durante el período de construcción del proyecto. Las redes de suministros de la ciudad, como gas, agua, alcantarillado y electricidad, también deberían sufrir la menor cantidad de interrupciones posible durante la ejecución.

Funciones del organismo de ejecución del proyecto

Independientemente del diseño final, el método de construcción o los acuerdos de adquisiciones para el proyecto ferroviario urbano, el organismo de ejecución del proyecto debe desempeñar un papel activo en la planificación de la construcción y la supervisión de la ejecución de la obra civil del proyecto. Si bien algunos de los riesgos, las funciones y las responsabilidades se pueden transferir a un socio privado bajo acuerdos de adquisición alternativos, como las asociaciones público-privadas, en la mayoría de los casos, el organismo de ejecución del proyecto tendrá la autoridad y responsabilidad de supervisión en calidad de propietario del proyecto. El personal del organismo de ejecución del proyecto deberá administrar los contratos con la entidad a cargo de la construcción y las relaciones con otras partes interesadas externas, como los organismos municipales de obras públicas, los propietarios de empresas de servicios públicos, los patrocinadores del proyecto, los grupos comunitarios y los individuos afectados por la ejecución del proyecto. La gestión de las distintas partes puede ser uno de los aspectos más difíciles de la construcción de ferrocarriles urbanos. Es responsabilidad del organismo de ejecución del proyecto garantizar que las tareas se comuniquen y ejecuten de manera clara y oportuna y manejar las expectativas de las partes interesadas. El organismo de ejecución del proyecto debe planificar sus propias tareas (como la planificación previa a la construcción, los estudios previos y las obras preliminares) con las del contratista o socio privado, y todas las demás partes interesadas para garantizar el cumplimiento de las metas relacionadas con el cronograma (y el presupuesto) del proyecto.

Adquisición de terrenos y secuencia de las obras

Los organismos de ejecución de proyectos suelen ser responsables de adquirir los terrenos necesarios para la ejecución de los proyectos (tanto los terrenos que se necesitan temporalmente para la construcción como los que se necesitan permanentemente para el derecho de vía, los pozos, las estaciones, los patios de maniobras y las instalaciones de mantenimiento del sistema ferroviario). Es importante considerar las opciones de diseño (especialmente el trazado en planta y en alzado) para minimizar la necesidad de adquisición de terrenos; igualmente, hay que tener en cuenta la disponibilidad y el costo de la adquisición

de terrenos privados. La adquisición de terrenos es un proceso complejo que, si no se gestiona adecuadamente, puede afectar el costo y el cronograma del proyecto. La adquisición de terrenos antes del inicio de la obra civil es responsabilidad de un equipo calificado de personal a cargo de las cuestiones jurídicas y del proyecto, que incluye a expertos en impactos sociales y ambientales (véase el capítulo 4). Los contratistas de construcción deben conocer las fechas y las condiciones en las que las áreas de obra estarán disponibles, dado que esta información está vinculada directamente con la secuencia de las obras. Las demoras cuestan tiempo y dinero a los contratistas, y representan una fuente importante de órdenes de cambio y reclamos por sobrecostos. Por lo tanto, la adquisición de terrenos es una responsabilidad clave del organismo de ejecución del proyecto y que se debe administrar como parte de la secuencia completa de las obras de construcción.

Para muchos organismos de ejecución del proyecto, la adquisición de terrenos puede estar restringida por el marco legislativo y normativo existente. En muchos países, los derechos de propiedad individuales y la falta de autoridad de parte del organismo de ejecución del proyecto para expropiar terrenos pueden limitar el trazado en planta a las vías de circulación públicas existentes (por lo general, a lo largo de carreteras principales). Los costos y las repercusiones de esta clase de legislación para el diseño y la construcción se deben evaluar durante la planificación del proyecto. Como parte de la planificación urbana para construir un nuevo sistema ferroviario urbano, se debe realizar un análisis legal y se deben mitigar todos los obstáculos legislativos que impiden la adecuada adquisición de terrenos.

La gestión de los grupos de interés y la participación de la comunidad

Es importante mantener un nivel constante de comunicación y colaboración con las diversas partes interesadas afectadas por la construcción del proyecto ferroviario urbano, especialmente los residentes locales cuya vida diaria puede verse alterada por las actividades de construcción. Esta participación de la comunidad comienza con el inicio del proyecto y continúa a lo largo de la planificación, el diseño, la construcción y la operación. A lo largo de todo el trazado, el organismo de ejecución del proyecto y el contratista deben coordinar y comunicarse con los departamentos municipales de obras para discutir la desviación de las instalaciones de servicios, y con los departamentos y las autoridades municipales de tráfico para tratar la provisión de obras complementarias temporales y a largo plazo como aceras, carriles para bicicletas y carreteras para acceder a las estaciones. El organismo de ejecución del proyecto también debe trabajar con las autoridades encargadas de exigir el cumplimiento de la ley, los proveedores de servicios de transporte y los ciudadanos para abordar la gestión

del tráfico. En cada tramo de la construcción del sistema ferroviario urbano, el contacto con la comunidad es importante para identificar los impactos sobre los propietarios de negocios de la zona y los ciudadanos, y para diseñar medidas de mitigación que permitan minimizar las alteraciones durante la construcción. Estas medidas de mitigación pueden incluir aceras temporales con señales claras para informar cómo transitar por las zonas de construcción y cómo acceder a los comercios y servicios adyacentes (véase el capítulo 14). La participación de la comunidad también es importante cuando se trata de mantener la seguridad de las zonas de obras, dado que muchos accidentes e incluso muertes se producen cuando los peatones, los conductores y otras personas interactúan con la zona de las actividades de construcción.

Desviación de instalaciones de servicios públicos

Las redes de servicios públicos y suministros urbanos (entre los que se incluyen agua, saneamiento, gas, electricidad, cableado telefónico y fibra óptica, y semáforos) son diversas, densas y, muchas veces, de gran envergadura. Por lo tanto, es posible que la construcción de un sistema ferroviario urbano interfiera con estas redes de servicios públicos.

Durante las primeras etapas de la planificación y el diseño del proyecto, es importante evaluar la distribución existente de los servicios públicos a lo largo del trazado del proyecto[1]. En los estudios que se realizan durante las primeras etapas de la planificación se debe hacer hincapié en la ubicación de las principales redes de suministro de servicios públicos y las intersecciones importantes, que pueden ser muy difíciles y costosas de desviar, y pueden afectar la construcción y el trazado de la infraestructura. Cuando el proyecto avance hacia la etapa de diseño, se deberá realizar una investigación específica del terreno, que será más detallada. Para completar la evaluación de los servicios públicos existentes, el organismo de ejecución del proyecto debe ponerse en contacto con los proveedores de estos servicios y los departamentos municipales de obras públicas a fin de obtener mapas de los servicios públicos e información de la red. Esta información oficial se debe complementar con las inspecciones *in situ* e incluso con un levantamiento topográfico, si fuera necesario. Luego, el organismo de ejecución del proyecto identifica qué instalaciones de servicios públicos se deben proteger o reubicar, y cómo hacerlo. Aun cuando haya instalaciones de servicios que se encuentren a suficiente distancia bajo la superficie para no verse afectadas por la construcción, puede ser necesario desviarlas para que su mantenimiento no afecte la seguridad ni la eficiencia de la operación del sistema ferroviario una vez que la construcción haya finalizado.

Aunque los servicios públicos existentes se desvíen o se protejan, es posible que sea necesario instalar sistemas adicionales de energía y agua, así como

sistemas de drenaje, para respaldar el nuevo sistema ferroviario. Es posible que se necesite espacio tanto por encima como por debajo del nivel del suelo para alojar nuevas subestaciones eléctricas, tanques de tormenta y sistemas para aguas residuales, o para integrar las nuevas redes de suministro a las instalaciones de los servicios públicos existentes. Los propietarios de servicios públicos intervienen en el abastecimiento de nuevos servicios públicos necesarios para el sistema ferroviario y en el diseño de las desviaciones y las medidas de protección necesarias para minimizar el riesgo que representan el movimiento de tierras y el asentamiento del terreno para los servicios públicos existentes.

Si bien la comunicación inicial y activa y la investigación temprana son importantes, siempre existen variaciones entre el inventario inicial y la ubicación real de las instalaciones de servicios públicos. Muchas zonas urbanas en países de ingreso medio y bajo tienen registros incompletos de los servicios públicos, que fueron elaborados antes de que se realizara una planificación coherente y centralizada de las redes. Aun cuando las instalaciones de servicios públicos se localicen cuidadosamente, suele recomendarse que el organismo de ejecución del proyecto (en colaboración con los propietarios de los servicios públicos) lleve a cabo una investigación para la ubicación de los servicios existentes, a través de calicatas. La cantidad y el costo asociado de estas calicatas dependerán del nivel de detalle de los registros de la ubicación de las instalaciones de servicios públicos, del trazado en alzado y del diseño del sistema, y de la cantidad de zonas sensibles en términos culturales y ambientales identificadas dentro de la zona de construcción a partir de las evaluaciones del impacto ambiental y social.

Incluso después de completar las calicatas, suelen encontrarse instalaciones de servicios públicos imprevistas una vez comenzada la construcción. En consecuencia, es importante que en los contratos de construcción y en las negociaciones con los propietarios de empresas de servicios públicos se establezcan claramente las funciones y responsabilidades en caso de desviación imprevista o de riesgo geotécnico (véase también el capítulo 7). Si el inventario de instalaciones de servicios públicos se completa antes de licitar el proyecto, el organismo de ejecución del proyecto puede especificar las funciones y asignar los riesgos en los contratos de los proyectos a fin de mitigar las posibles demoras y poder responder con rapidez a los imprevistos. Si el inventario de instalaciones de servicios públicos no se completa antes de la licitación, todos los riesgos e incertidumbres relacionados se pueden transferir al contratista, pero esto suele tener un costo elevado. El organismo de ejecución del proyecto debe equilibrar el tiempo y los recursos necesarios para compilar un inventario completo de instalaciones de servicios públicos con las primas de riesgo que se pueden incluir en un contrato si el contratista o el socio privado son quienes deben llevar a cabo los estudios.

Gestión del tráfico

La construcción de un sistema ferroviario dentro de una zona urbana alterará los patrones diarios de desplazamiento de peatones, del transporte público y del transporte privado. En la planificación y el diseño del proyecto se deben considerar diferentes alternativas con el objeto de minimizar el impacto general en el tráfico durante los períodos de construcción y de operación. Durante la construcción, especialmente para trazados a nivel y elevados, las zonas de las estaciones, las aceras, las rutas del transporte público en superficie y las carreteras pueden estar cerradas al paso o se pueden realizar desviaciones alrededor de los cerramientos de obras. Aunque algunas vías pueden restaurarse después de la construcción, en otros casos es posible que el tráfico se deba desviar permanentemente a lo largo del trazado de los sistemas a nivel y elevados, y en las ubicaciones de las estaciones. Además del cierre temporal o permanente de vías, los vehículos de construcción pueden sumar tráfico pesado a calles urbanas congestionadas, que suelen ser estrechas. Por lo general, es necesario transportar regularmente materiales desde las zonas de almacenamiento que se encuentran fuera del denso núcleo urbano hasta los emplazamientos de las obras y llevar la tierra excavada y otros materiales a los puntos de eliminación. La logística y su impacto sobre el tráfico deben tenerse en cuenta. En algunos casos, el tráfico vinculado con la construcción se puede confinar a determinadas rutas (según la capacidad de la infraestructura) o restringir a determinadas horas valle (es decir, para reducir la contaminación acústica nocturna o para evitar el horario escolar y de traslado de trabajadores durante el día).

Antes de liberar cualquier zona para la realización de obras, es fundamental llevar a cabo una planificación rigurosa de la ocupación de las vías públicas y su impacto sobre las condiciones del tráfico. En lo posible, este estudio de gestión del tráfico debe mantener rutas abiertas o habilitar rutas alternativas. Todas las desviaciones de tráfico generarán una importante confusión para los peatones y conductores que deben reorganizar sus itinerarios. Para minimizar los efectos de las desviaciones o la reorganización, es necesario llevar a cabo campañas de comunicación y difundir información adecuada a los residentes y conductores de taxis y autobuses y otros usuarios antes de realizar modificaciones. Es indispensable cumplir con los plazos programados para las desviaciones. De ser necesario, se deben mejorar los servicios de autobuses y otros servicios de transporte público y privado en la zona para satisfacer las necesidades de transporte de los residentes. De todos los impactos para la comunidad, la desviación del tráfico y las demoras en el tiempo de desplazamiento son los que generan la mayor cantidad de quejas de los residentes de la zona durante la construcción. Por lo tanto, la planificación de la gestión del tráfico es una pieza fundamental

de las iniciativas de construcción que pueden conectar la implementación con la EIS (véase el capítulo 14).

El impacto de las actividades de construcción sobre el tráfico se debe gestionar desde una perspectiva de sistema. Varios proyectos de infraestructura en la misma zona urbana pueden tener impactos acumulativos sobre el tráfico y, en ocasiones, pueden generar demoras en la finalización del plan de gestión del tráfico para un corredor determinado. Es posible que el organismo de ejecución del proyecto necesite establecer un enlace con otros proyectos para evaluar el impacto acumulado al momento de analizar planes de gestión del tráfico para la implementación del ferrocarril urbano. Por lo general, la planificación y la ejecución de la gestión del tráfico durante la construcción se asignan al contratista o al socio privado. Sin embargo, el organismo de ejecución del proyecto y las autoridades locales mantienen la función de supervisión, dado que aprueban dichos planes, evalúan el impacto acumulado con otros proyectos de infraestructura en la región y se aseguran de difundir la información a todas las partes interesadas que corresponda.

Fortalecimiento de la capacidad técnica dentro del organismo de ejecución del proyecto

Para muchos organismos de ejecución de proyectos en países de ingreso medio y bajo, un proyecto ferroviario urbano suele ser el primero de este tipo que se realiza en el lugar. Por lo tanto, la capacidad técnica local para diferentes métodos de construcción subterráneos y la secuenciación necesaria de las obras de construcción pueden ser limitadas. Es importante que, mucho antes de adjudicar contratos o comenzar la construcción de la obra civil, el organismo de ejecución del proyecto evalúe cuidadosamente su capacidad para gestionar la construcción y demás capacidades técnicas y que complemente dicha capacidad con expertos externos (véase el capítulo 4). Por ejemplo, Quito (Ecuador) diseñó su primera línea de transporte ferroviario urbano como un sistema subterráneo, pero no tenía experiencia previa con construcciones de este tipo. Habiendo reconocido esta brecha de conocimientos en las primeras etapas del desarrollo del proyecto (mucho antes de la construcción), Metro de Quito pudo contratar a una empresa para que les brindara asistencia en lo relativo a la ingeniería de valor del diseño del proyecto (véase el capítulo 6) y para gestionar la licitación y la construcción.

La necesidad de llevar a cabo estudios previos y considerar la función del organismo de ejecución del proyecto en la gestión de la construcción se aplica a toda forma de construcción relacionada con ferrocarriles urbanos; otras consideraciones son específicas del trazado en alzado y del método de construcción empleado para el proyecto. En las siguientes tres secciones se ofrece una reseña

de los métodos de construcción para sistemas ferroviarios urbanos a nivel, elevados y subterráneos, respectivamente, y se analizan consideraciones críticas específicas del trazado en alzado.

Construcción de ferrocarriles urbanos a nivel

Muchos de los primeros sistemas ferroviarios urbanos se construyeron a nivel, esto es, sobre la superficie, en un contexto de interacción con la mayoría de las actividades urbanas (como el tráfico de peatones y vial). Un sistema ferroviario urbano a nivel (con vía segregada exclusiva) suele consistir en una plataforma exclusiva con cruces muy limitados para peatones y vehículos. Los sistemas a nivel son los más simples de construir porque eliminan la necesidad de estructuras elevadas adicionales o de túneles, pero, a medida que aumenta el valor del suelo en los centros urbanos densos, se vuelven cada vez más costosos. Por muchos motivos —como el aumento del valor del suelo urbano, los altos costos políticos asociados con la competencia por el espacio limitado para carreteras y el efecto barrera—, el ferrocarril a nivel ahora se desarrolla con mayor frecuencia para corredores ferroviarios suburbanos, regionales y metropolitanos, y no para sistemas de metro en zonas céntricas.

Consideraciones especiales para los sistemas a nivel

La eficiencia operativa de los sistemas ferroviarios urbanos a nivel depende de la exclusividad de sus derechos de vía, que pueden crear una barrera física entre los vecindarios ubicados a cada lado de las vías. Esta barrera altera los patrones de tránsito existentes y requiere que se proteja la vía segregada.

Efecto barrera

Los sistemas ferroviarios urbanos a nivel sobre un derecho de vía exclusivo pueden crear una barrera física que restringe el acceso de vehículos y peatones por las vías (véase la imagen 11.1). Esta barrera puede interrumpir las conexiones sociales y económicas existentes entre los vecindarios, y puede ocasionar demoras y molestias para los residentes que no reciben servicios del nuevo sistema ferroviario. Este efecto barrera permanente y las consecuencias de la construcción a nivel de la superficie se deben investigar exhaustivamente cuando se planifica el trazado en alzado de la línea ferroviaria y cuando se realiza la EIS y el estudio MASS. Estas evaluaciones y la identificación de medidas de mitigación implican un alto grado de participación y de gestión de las partes interesadas, especialmente con las comunidades locales adyacentes al derecho de vía previsto (véanse los capítulos 4, 14 y 15).

IMAGEN 11.1. Líneas elevadas de ferrocarril interurbano de alta velocidad y líneas de ferrocarril urbano a nivel, con cruce de paso elevado de carretera y paso flotante para peatones: Tokio, Japón

Fuente: Tokyo Form a través de Flickr Commons (CC-BY-ND 2.0).

Desvío permanente del tráfico y protección del derecho de vía

El tráfico vehicular y peatonal se debe rediseñar cuidadosamente en torno a la nueva vía segregada para la etapa operativa de un sistema a nivel. Las barreras temporales utilizadas para proteger el emplazamiento durante la construcción se deben reemplazar por vallas permanentes y otras estructuras que impidan la usurpación de las vías. Es fundamental proteger el derecho de vía para evitar interrupciones y preservar la seguridad del sistema a nivel durante la operación. Las entradas y salidas permanentes a la vía segregada y los cruces a nivel deben estar cuidadosamente señalizados y contar con advertencias visuales y sonoras para evitar la interacción entre las personas y el material rodante que opera en las vías. Los sistemas ferroviarios urbanos a nivel más eficaces y seguros limitan la cantidad de cruces a nivel y brindan infraestructura (como pasarelas elevadas o túneles) para facilitar el movimiento de personas de un lado a otro de las vías. Especialmente en el

caso de los sistemas de tren metropolitano de larga distancia, que tienen más probabilidades de estar a nivel, el diseño también debe proteger el derecho de vía contra la intrusión de agua e incorporar medidas adecuadas de drenaje y resiliencia ante inundaciones y otros peligros climáticos (véase el capítulo 17).

Método de construcción para los sistemas a nivel

La planificación previa a la construcción y la gestión de las obras preliminares (incluidas la adquisición de terrenos, la reubicación de las instalaciones de servicios y la gestión del tráfico) son fundamentales para la ejecución de los sistemas ferroviarios urbanos a nivel. En comparación con los sistemas ferroviarios elevados o subterráneos, los sistemas a nivel necesitan mayor superficie de terreno tanto durante la construcción como durante la operación. Por lo tanto, al momento de determinar el trazado en planta y la secuencia y fases de las obras de construcción para los sistemas a nivel, se deben analizar cuidadosamente la disponibilidad y el costo del terreno en superficie. Con el fin de reducir el impacto de las obras preliminares y la construcción, estas actividades se deben repetir en los tramos del trazado en planta.

Una vez que se hayan adquirido los terrenos, el contratista puede comenzar con actividades importantes de desbroce del terreno, movimientos de tierras y tratamientos de mejoras del suelo, si fuera necesario. Las estructuras de servicios existentes se deben desviar o proteger a lo largo de toda la ruta, en las zonas de las estaciones y debajo de los patio talleres y las instalaciones de mantenimiento. El impacto del tráfico vinculado con la construcción se debe analizar cuidadosamente al gestionar el movimiento de personas y vehículos alrededor de los emplazamientos de obras.

Una vez que se completan la planificación anterior a la construcción y las obras preliminares en una sección dada, comienza la construcción del sistema a nivel. La construcción de un sistema a nivel implica despejar y nivelar el derecho de vía, preparar e instalar la infraestructura de las vías, e instalar los sistemas mecánicos y eléctricos. La superestructura de las vías se puede construir sobre balasto (usado generalmente en áreas suburbanas) o sobre losa de concreto (los más usados en centros urbanos) (en el capítulo 5 se presenta un análisis de las ventajas y desventajas de esta y otras decisiones sobre el diseño). Una vez que se completa la construcción de las vías y las instalaciones, se coloca un vallado en la vía de circulación (según corresponda) y se construyen nuevos cruces vehiculares y peatonales para proporcionar acceso controlado y protegido a un lado y a otro de las vías.

Construcción de ferrocarriles urbanos elevados

Teniendo en cuenta el valor de los terrenos urbanos a nivel, la densidad cada vez mayor de las actividades urbanas y las alteraciones económicas y sociales provocadas por el efecto barrera, en muchas ciudades se comenzaron a implementar sistemas ferroviarios elevados. Estos sistemas elevados circulan por vías que se encuentran por encima del nivel de la calle, sobre un viaducto u otra estructura elevada (por lo general construida de acero y concreto). En las siguientes secciones, se analizan consideraciones especiales necesarias para la ejecución de un tramo elevado de un sistema ferroviario urbano y para el método de construcción general.

Consideraciones especiales para los sistemas elevados: uso del espacio de estructura de soporte

Tal como sucede con los sistemas a nivel, la ejecución de sistemas ferroviarios urbanos elevados genera importantes alteraciones a nivel de la superficie durante la construcción y requiere de la evaluación cuidadosa y de la mitigación de los impactos sociales, ambientales, para la salud y la seguridad. En particular, los sistemas elevados pueden seguir provocando un efecto barrera duradero (sobre todo entre edificios altos en zonas urbanas densamente pobladas). Si bien parte de la infraestructura urbana, como las conexiones entre calles y aceras, se puede restaurar debajo de la estructura elevada, el trazado elevado puede limitar de forma permanente el futuro desarrollo del suelo.

Al diseñar el sistema e incorporar el desarrollo de este espacio en el contrato de construcción, es importante tener en cuenta el espacio que se encuentra debajo de la estructura elevada. Tener en cuenta desde el inicio el espacio de estructura de soporte permite generar eficiencias, puede mitigar el riesgo social relacionado con el efecto barrera que estas estructuras pueden tener sobre vecindarios existentes y puede resultar de gran utilidad desde un punto de vista político si cuenta con la participación de la comunidad. Si no se considera el uso del espacio de estructura de soporte, la infraestructura puede producir la ruptura del entramado urbano creando una barrera entre las actividades sociales y comerciales a ambos lados de la vía, de manera similar a lo que ocurre con los sistemas a nivel.

Aunque los sistemas elevados pueden permitir pasos más flexibles debajo de la plataforma de un lado a otro del sistema ferroviario, este espacio no se suele utilizar adecuadamente y suele ser inhóspito. El espacio urbano es demasiado escaso y valioso como para desaprovecharlo; sin embargo, históricamente, el espacio que se encuentra debajo de muchos ferrocarriles elevados ha sido problemático. Sin un diseño cuidadoso que los integre con el entorno, dichos

espacios pueden quedar inhóspitos, tener poca iluminación y ser peligrosos. La falta de seguridad y de comodidad puede crear un efecto barrera intangible más que físico (a menos que las estructuras elevadas sean bastante altas, como sucede en algunas ciudades de China).

Se está gestando un movimiento internacional para rehabilitar estos espacios públicos poco usados y degradados, lo que está generando un gran cúmulo de buenas prácticas internacionales sobre cómo diseñarlos para que sean útiles, placenteros y seguros (véase el recuadro 11.1). Muchas de estas intervenciones buscan crear un espacio público de calidad ambiental que permita mejorar y fomentar la experiencia de caminar de un lado a otro.

Independientemente de si la función de estos espacios es estética, recreativa o comercial, los proyectos más exitosos buscan activamente las opiniones de los residentes del vecindario al momento de determinar el tipo de uso. Las contribuciones de la comunidad se pueden incorporar mediante talleres de participación, concursos de ideas y otras formas de otorgar identidad social al proyecto e integrar el espacio dentro de las actividades sociales del entorno. Si se diseña cuidadosamente con el aporte de la comunidad local, el sistema ferroviario elevado puede generar menores impactos a largo plazo que los sistemas a nivel sobre el movimiento de personas y bienes en toda la superficie de la ciudad.

Método de construcción para los sistemas elevados

En los sistemas elevados, el terreno para las instalaciones de almacén y mantenimiento se adquiere de manera permanente, y se otorga un acceso temporal a este terreno a lo largo del derecho de vía para que la construcción pueda comenzar. El emplazamiento de obras se cerca con suficiente espacio para comenzar a realizar movimientos de tierras, desviar y proteger las instalaciones de servicios afectados y hacer trabajos temporales. A lo largo del trazado definido, se realiza un cuidadoso levantamiento topográfico de la ubicación de los servicios afectados, pero solo se desvían aquellos que se encuentran en zonas donde se colocarán los cimientos o donde se construirán las estaciones. Para reducir el número de las desviaciones de servicios, en el diseño de los sistemas elevados se debe tener en cuenta la ubicación de dichas instalaciones al momento de ubicar las pilas de las estructuras elevadas.

En la construcción de un sistema elevado, es importante diseñar no solamente la estructura y el sistema finales, sino también las obras temporales necesarias para elevar los soportes verticales y construir las plataformas horizontales. Estos trabajos de construcción temporales determinarán el terreno requerido durante la construcción del sistema y, por lo tanto, el alcance de la zona urbana afectada por la ejecución del proyecto. Las obras temporales para la construcción de pilares y tableros se pueden llevar a cabo con grúas, vigas prefabricadas

RECUADRO 11.1.

Uso del espacio debajo de la infraestructura elevada de vías: experiencia internacional y factores de éxito

Se pueden extraer enseñanzas de los proyectos que se realizan en todo el mundo para rehabilitar antiguos espacios de estructura de soporte para diseñar estos espacios para nuevos sistemas ferroviarios y de carreteras. En los últimos años, estos espacios se han rediseñado como parques estéticos, espacios públicos recreativos o centros comerciales.

Parques estéticos

Una de las formas más rentables de transformar la imagen tradicionalmente negativa de estos espacios consiste en realizar pequeñas intervenciones estéticas que los convierten en un espacio favorable para los peatones y mejoran la experiencia de caminar de un lado a otro de la estructura. Estas intervenciones estéticas suelen incluir la instalación de iluminación (por ejemplo, el Phoenix Flowers en Glasgow), paisajismo y vegetación (por ejemplo, el campo de lavandas en la estación central de Mainz, Alemania) o arte local (por ejemplo, Praça XV de Novembro en Río de Janeiro, Brasil) (Bordas Geli, 2016).

En Lima, Perú, los responsables de la toma de decisiones a nivel municipal inicialmente no analizaron el uso del espacio de estructura de soporte en el diseño y la construcción de la línea 1 del metro. En muchos vecindarios, el espacio debajo de las vías se convirtió en un vertedero de basura y era inhóspito para los pasajeros y residentes locales. Al reconocer la necesidad de reinventar estos espacios, artistas locales y miembros de la comunidad trabajaron con la línea 1 del metro y el Ministerio de Cultura para buscar una solución estética de bajo costo que hablara sobre la sociedad, la cultura y la historia de la ciudad. A través de murales de importancia social, cultural y religiosa, la línea 1 del metro de Lima creó espacios de arte que los residentes locales respetan y cuidan. En particular, los miembros locales de la tribu shipibo-conibo pintaron murales geométricos alrededor del área de la estación Nicolas Arriola, donde viven (véase la imagen B11.1.1) (Alamys, 2017).

IMAGEN B11.1.1. Creación de espacios comunales de cultura, arte y seguridad debajo de las líneas férreas: línea 1 del metro de Lima

Fuente: Alamys. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 11.1.

Uso del espacio debajo de la infraestructura elevada de vías: experiencia internacional y factores de éxito *(Continuación)*

Espacios públicos recreativos

Reconociendo que el espacio urbano es un activo escaso y valioso, los responsables de la toma de decisiones de proyectos también pueden aprovechar los espacios de estructura de soporte para dar a la ciudad equipos recreativos útiles protegidos de la lluvia. Entre los ejemplos exitosos de la creación de espacio recreativo debajo de las líneas férreas elevadas se incluyen el desarrollo comunitario de pistas de patinaje en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, y un parque de diversiones público construido con materiales reciclados en Lima, Perú.

Centros comerciales

Un uso final del espacio de estructura de soporte es el desarrollo de proyectos comerciales que generen ingresos y estimulen la actividad económica en el área circundante. El área que se encuentra debajo de las vías puede albergar tiendas o mercados locales, y convertirse en un punto de atracción para los transeúntes. En Caracas, Venezuela, se observan los puestos de un pujante mercado de libros y juegos de mesa instalados debajo de una autopista. En ciudades urbanas densamente pobladas en Japón, el desarrollo es más permanente, con edificios comerciales que ocupan gran parte del espacio debajo de las líneas férreas en algunas zonas (véase la imagen B11.1.2).

IMAGEN B11.1.2. La actividad comercial prospera debajo de las vías de trenes elevados: estación Yarakucho, Tokio, Japón

Fuente: T. H. Rogers a través de Flickr Commons (CC-BY-ND 2.0).

o sistemas de encofrado. Al utilizar andamios, es fundamental considerar las condiciones geotécnicas necesarias para soportarlos. Si no se tienen en cuenta estas condiciones, los movimientos de tierras durante la construcción pueden hacer que la cimbra colapse, lo que constituye la causa de numerosos accidentes durante la construcción de los sistemas elevados. Por lo tanto, el uso de encofrados y otras obras temporales puede requerir mejoras del terreno antes de la construcción.

Una vez que se han implementado los trabajos temporales, comienza la construcción de los tramos elevados de ferrocarril urbano con la excavación y

hormigonado de la cimentación. Una vez preparada la cimentación, se construyen pilas verticales y el tablero de la plataforma se construye en tramos sobre las pilas verticales (véase la imagen 11.2). La profundidad de los cimientos para los pilares y el espacio entre ellos dependerán de las características del suelo (determinadas mediante estudios geológicos), la ubicación de las instalaciones de servicios existentes y los parámetros de diseño de las estructuras. En el diseño, se deben intentar equilibrar los costos de infraestructura y superestructura para lograr un equilibrio óptimo entre el costo del ciclo de vida y el desempeño de la operación (para obtener más información sobre la optimización del diseño, véase el capítulo 6).

IMAGEN 11.2. Construcción de la plataforma sobre soportes verticales: línea Plateada, ciudad de Washington

Fuente: © Chuck Samuelson, Dulles Corridor Metrorail Project. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Una vez que las pilas y el tablero elevado están instalados, el resto de la construcción continúa de la misma manera que en los trazados a nivel. Primero, se prepara la plataforma de trabajo. En los sistemas a nivel, esta puede ser de balasto o de losa de concreto, pero, en sistemas elevados, la losa de concreto es el estándar, puesto que el balasto podría volarse de las estructuras y golpear a las personas o a los vehículos que pasaran debajo de ellas. Después de colocar la losa de la plataforma, se colocan los rieles, se fijan y es entonces cuando se nivelan. Junto con la construcción de las vías, se instalan sistemas mecánicos y eléctricos a lo largo del trazado. Los sistemas elevados suelen incluir la construcción de alguna barrera y otros elementos en la infraestructura que amortigüen el ruido para mitigar el ruido agregado que generan los sistemas elevados con losa de concreto.

Después de finalizar la vía elevada y los sistemas, se restaura el terreno que se cercó temporalmente debajo de la vía. Las conexiones peatonales y vehiculares que se interrumpieron durante la construcción pueden rediseñarse, y pueden agregarse otras mejoras debajo de la estructura elevada.

Construcción de ferrocarriles urbanos subterráneos

Debido a que los municipios reconocen el valor a largo plazo, la escasez del espacio público y las alteraciones que genera la construcción en superficies extensas en centros urbanos densamente poblados, la construcción subterránea se convirtió en la alternativa preferida para muchos proyectos ferroviarios urbanos, especialmente los metros. Si bien los avances en los métodos de construcción subterránea han reducido el costo de implementación para algunos sistemas subterráneos, la construcción de túneles requiere de consideraciones especiales que van más allá de las necesarias para los sistemas a nivel o elevados. Antes de decidir adoptar o no una solución de sistema ferroviario urbano (véase el capítulo 3) y durante todo el proceso de diseño (véase el capítulo 5) se deben ponderar los costos y los beneficios de los tramos subterráneos. Para aquellos tramos de transporte ferroviario urbano diseñados para ser subterráneos, durante la planificación y el diseño del proyecto se llevan a cabo estudios adicionales como parte de los preparativos de la licitación y la construcción. Basándose en los resultados de estos estudios adicionales, el presupuesto del proyecto y el cronograma de ejecución, el organismo de ejecución del proyecto elige el método de construcción adecuado para emprender el proyecto.

En muchos casos, es posible que el proyecto ferroviario urbano represente la primera vez en la historia (o en una generación) que la ciudad o el país ha abordado la construcción de túneles urbanos a gran escala. Por lo tanto, los organismos de ejecución de proyectos deben contratar consultores técnicos externos

o personal altamente cualificados con la suficiente experiencia para abordar las complejidades específicas del proyecto (véase el capítulo 4).

Estudios previos especiales para sistemas subterráneos

La construcción de los sistemas subterráneos es más compleja y arriesgada que la construcción de los sistemas de superficie. Como parte de los preparativos de la construcción subterránea, los estudios que habitualmente se realizan para cualquier sistema ferroviario urbano se complementan con una exploración más profunda de las características geotécnicas e hidrogeológicas del emplazamiento, del asentamiento del terreno durante la excavación, la estrategia de logística y la secuencia de los trabajos de excavación, así como la seguridad de las condiciones de trabajo en espacios subterráneos confinados.

Informe geotécnico de referencia

Los proyectos subterráneos son los más expuestos al riesgo de que los costos de la construcción excedan los niveles previstos y se produzcan retrasos en la ejecución debido a las condiciones imprevistas del suelo. En consecuencia, las investigaciones geotécnicas del emplazamiento para los proyectos subterráneos se ejecutan con la mayor densidad de perforaciones, calicatas y otros muestreos posibles. El análisis de estas investigaciones determinará qué métodos de construcción son factibles teniendo en cuenta las condiciones geotécnicas a lo largo del trazado.

Es fundamental contar con un informe geotécnico de referencia tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista contractual, ya que muchas de las demandas y disputas que se producen durante una obra subterránea están relacionadas con la existencia de condiciones geotécnicas distintas de las consideradas inicialmente en el contrato. Si bien una buena investigación del terreno brinda una aproximación razonable de las condiciones del suelo, la realidad no es tan clara hasta que comienza la construcción. El informe geotécnico de referencia permite asignar claramente los riesgos geotécnicos y definir las responsabilidades financieras y relacionadas con la construcción para responder a los cambios e imprevistos en las condiciones geotécnicas. Desde el punto de vista contractual, contar con un buen informe geotécnico puede reducir (aunque no eliminar) la probabilidad de demandas y desviaciones de costos por motivos geotécnicos (véase también el capítulo 7).

Estudios hidrogeológicos

Los túneles pueden alterar las condiciones hidrológicas existentes de los alrededores, dado que actúan como drenaje o modifican el nivel de la capa freática. Los cambios en el sistema de aguas subterráneas pueden hacer que el terreno se asiente y dañar las estructuras con cimentaciones poco profundas. Se necesitan

estudios hidrogeológicos para documentar el flujo de agua y la ubicación de los acuíferos a fin de modelar y evaluar el posible impacto en el sistema de aguas subterráneas debido a la estructura subterránea propuesta y a las consecuencias sobre las estructuras en la zona de la construcción. Estos estudios pueden orientar estrategias específicas o para mitigar cualquier efecto no favorable sobre el sistema de aguas subterráneas debido al trazado de túneles y al método de construcción propuestos. Si no se gestiona adecuadamente, la intrusión de agua en las estructuras subterráneas durante la construcción o la operación puede provocar fallos prematuros en los activos, lo que requiere mayores costos de mantenimiento y renovación.

Plan de gestión de asentamientos

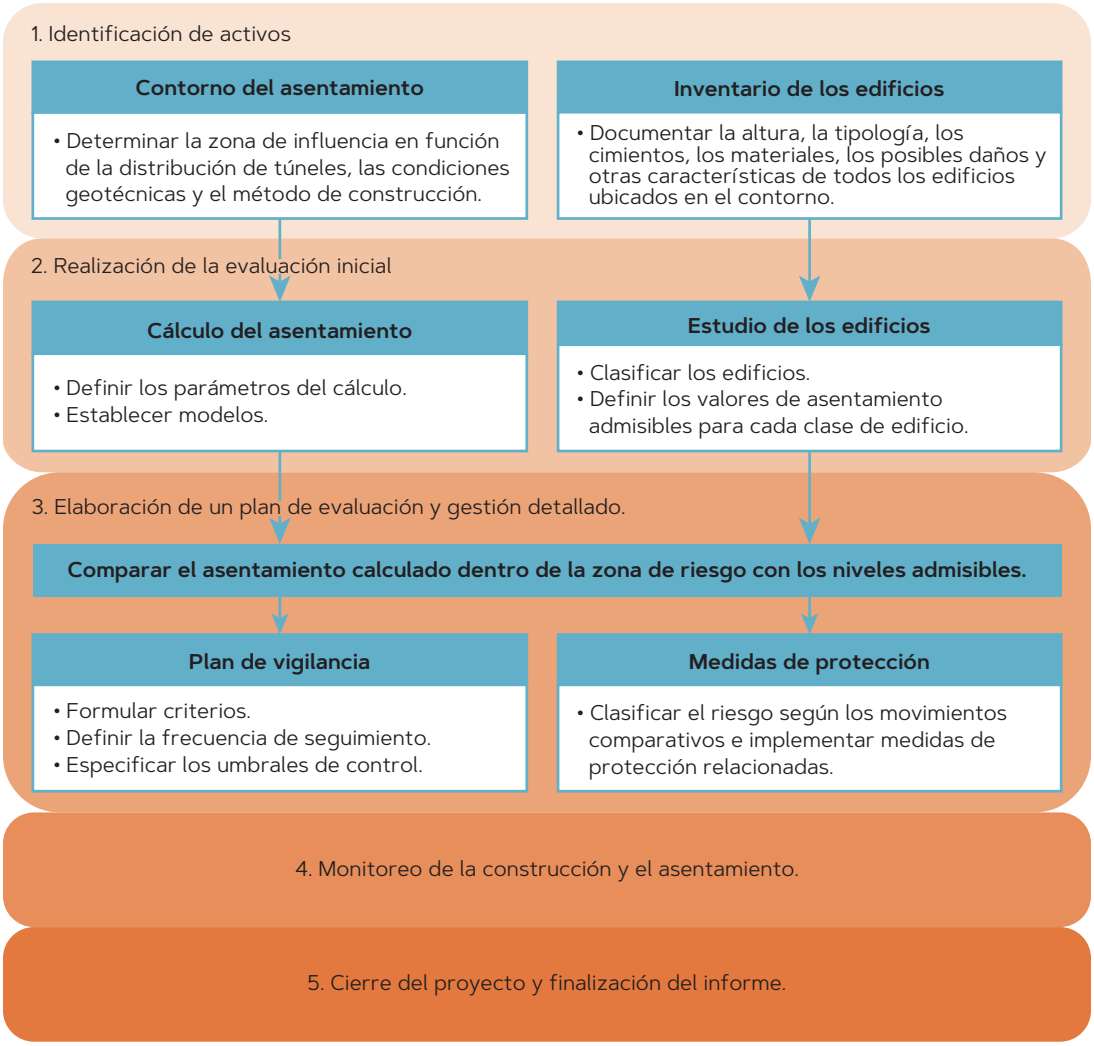
La excavación y la instalación de sistemas ferroviarios urbanos subterráneos producen inevitablemente vibraciones y movimientos de tierra. Estos movimientos de tierras durante la construcción pueden hacer que las instalaciones de servicios y los edificios asienten y, si esto no se gestiona adecuadamente, pueden dañar su integridad estructural y funcionalidad. Mucho antes de la excavación, el organismo de ejecución del proyecto documenta cuidadosamente la ubicación y el estado de las estructuras a lo largo de la ruta y crea un plan de gestión de asentamientos en esas estructuras dentro de la zona de influencia (calculada de manera conservadora). En el plan de gestión de asentamientos se identifican aquellas estructuras con riesgo de asentamiento, el daño que podría provocarse a los inmuebles afectados, y se determina si serán necesarias medidas de protección contra asentamientos durante la construcción. Este plan de gestión de asentamientos se completa con el diseño preliminar del proyecto y se revisa o se perfecciona con un grado de detalle que coincida con el diseño final; además, los inventarios de los edificios ubicados en la zona afectada por la construcción se actualizan antes de comenzar con las obras.

Este proceso consta de varios pasos, muchos de los cuales se ejecutan mucho antes de que comience la excavación (véase el gráfico 11.3):

1. *Identificación de estructuras.* Se calcula el contorno del asentamiento de la excavación en función de la distribución de túneles, las condiciones geotécnicas y el método de construcción. Se realiza un inventario de los edificios ubicados en el contorno del asentamiento, lo que incluye la altura, la tipología, los subsuelos, los cimientos, el estado actual y los posibles daños.

2. *Evaluación inicial.* Se definen los parámetros y modelos que se emplearán en el cálculo del asentamiento. Se clasifica el riesgo de daño para las estructuras identificadas en una evaluación preliminar. En el caso de las estructuras que superan la tolerancia acordada y se consideren en riesgo, se debe proceder al siguiente paso[2].

GRÁFICO 11.3. Pasos para realizar un análisis de riesgos de asentamiento y elaborar el plan de mitigación correspondiente para la construcción subterránea



3. *Elaboración de un plan de evaluación y gestión detallado.* Se realiza una evaluación detallada de cada estructura en riesgo y se diseñan medidas de seguimiento, mitigación y estabilización del suelo —como inyección de lechada de cemento (*jet grouting*), micropilotes, pilotes de mortero y control de parámetros de excavación— a fin de reducir el riesgo de daños. Se establecen los parámetros críticos de asentamiento que se supervisarán para

cada emplazamiento, los umbrales de activación para cada parámetro y las medidas que se tomarán en caso de que se superen los umbrales para un activo en particular. Los umbrales de activación y las medidas relacionadas se resumen en un plan de respuesta de emergencia.

4. *Supervisión de la construcción y de los asentamientos*. Como práctica recomendada, los parámetros de excavación y de asentamiento se deben supervisar y analizar conjuntamente. La información sobre el asentamiento se debe usar como retroalimentación para ajustar la manera en que avanzará la excavación.

5. *Cierre del proyecto y finalización del informe*. El cierre del proyecto debe documentarse cuidadosamente una vez que la tasa observada de asentamiento sobre la instrumentación instalada sea relativamente baja (por ejemplo, menos de 2 milímetros por año) y luego de un período mínimo (al menos un año) a partir de la finalización de las actividades de construcción.

Estrategia de manejo de los materiales de excavación

Toda forma de construcción de túneles genera un gran volumen de material de excavación. La manera en que este material se transporta desde el sitio de excavación y la forma en que se procesa y se vierte pueden tener consecuencias ambientales importantes y costos de mitigación. Esto genera particular inquietud en el caso de las zonas urbanas, donde las calles y el tráfico pueden verse gravemente afectados por los vehículos de construcción y donde suele no haber suficientes áreas disponibles para vertedero. Por lo tanto, toda construcción subterránea debe ir acompañada de una estrategia para el transporte, la descontaminación y la reutilización (o eliminación) de los materiales de excavación. Es importante determinar la ubicación y la capacidad de las zonas de eliminación para el material de excavación y garantizar su disponibilidad durante las obras; el aumento en la distancia hacia estos sitios puede tener un impacto económico y logístico importante sobre el proyecto. Esta estrategia refuerza el plan de gestión del tráfico y el estudio ambiental del proyecto (véase el capítulo 15).

Debido al exceso del material de excavación que se genera a partir de las obras subterráneas, es importante considerar si se puede reutilizar en otros proyectos que necesiten relleno (como desarrollos urbanos, expansiones de puertos y otras obras de infraestructura). La reutilización del material implica un menor impacto ambiental y mayores ahorros financieros. En el caso de Crossrail de Londres y en muchos otros proyectos, esta estrategia de manejo de los materiales de excavación es responsabilidad tanto del organismo de ejecución del proyecto como del contratista (véase el recuadro 11.2).

RECUADRO 11.2.

Buena práctica para el manejo del material de excavación: Crossrail, Londres

La construcción de Crossrail generó más de 8 millones de toneladas de material de excavación. Para reducir el impacto social y ambiental del proyecto, Crossrail adoptó iniciativas innovadoras para el transporte y la reutilización de este material. En conjunto con los contratistas individuales, desarrolló la infraestructura necesaria para poder transportar el 80 % (por tonelada-kilómetro) del material de excavación lejos del sitio de construcción por ferrocarril o por agua. Esta decisión redujo la necesidad de realizar hasta 150 000 viajes en camión por las calles de Londres, lo que, a su vez, redujo significativamente el impacto sobre las calles existentes y el tráfico durante la construcción.

Una vez fuera de la ciudad, el material se reutilizó, lo que redujo la necesidad de contar con sitios adecuados para su eliminación. En los planes de manejo de los materiales de excavación se prevé la reutilización del 98 % de dichos materiales para reservas naturales, instalaciones recreativas, terrenos agrícolas e industriales, y otros usos en toda la ciudad de Londres y las zonas circundantes (Crossrail, 2017). De estas iniciativas de reutilización, la más ambiciosa es una asociación entre Crossrail y la Real Sociedad para la Protección de las Aves para la creación de una reserva natural de humedales (Jubilee Marsh) donde se utilizan 3 millones de toneladas de material de excavación de Crossrail (RSPB Press Office 2017a, 2017b). Esta reserva forma parte de Wallasea Island, que será un importante sistema de defensa contra inundaciones para Londres, lo que ayuda a cumplir con las metas adicionales de resiliencia frente al cambio climático (véase la imagen B11.2.1).

IMAGEN B11.2.1. Reserva natural Jubilee Marsh en Wallasea Island, creada con material de excavación de Crossrail

Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Seguridad de los trabajadores

La seguridad de los trabajadores es importante en todos los proyectos de construcción, pero la construcción subterránea implica peligros adicionales que se deben mitigar. Los túneles deben estar debidamente iluminados, drenados y ventilados para ofrecer visibilidad, un entorno de trabajo seco y aire respirable libre de polvo, incluso en espacios confinados. Además, es importante considerar los efectos de la contratación de personal en la seguridad y ofrecer a todo el personal de obra la formación adecuada en materia de concientización de seguridad y salud. Para la construcción subterránea, es muy importante llevar a cabo una evaluación de la fatiga y especificar la cantidad y la duración de los turnos para cada trabajador. En países con experiencia limitada en construcción subterránea o con normas de seguridad poco rigurosos, el colapso de los túneles representa el mayor riesgo para la seguridad. Se debe supervisar la seguridad del proyecto para garantizar que la construcción de túneles se complete sobre tierra adecuada y con buenas condiciones de drenaje, y que cuente con el apoyo y el revestimiento adecuados de las secciones excavadas para evitar el colapso.

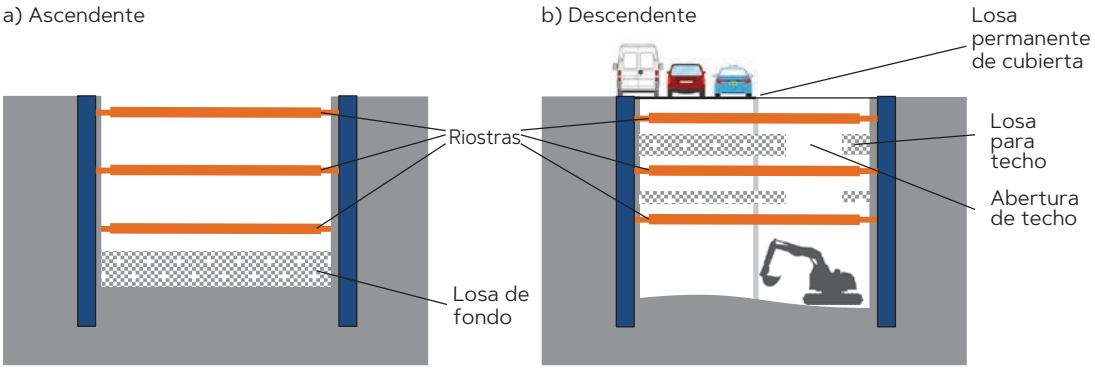
Métodos de construcción para los sistemas subterráneos

Existen muchos métodos de construcción para los sistemas ferroviarios urbanos subterráneos, entre ellos los siguientes: 1) falso túnel entre pantallas, 2) métodos tradicionales de excavación de túneles (como los métodos alemán, belga o de Madrid), 3) métodos de excavación secuencial (Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles), 4) tuneladoras (TBM), y 5) construcción de túnel *in situ*. Cada uno de estos métodos tiene ventajas y desventajas únicas, y ningún método es mejor que los otros en todos los aspectos. Elegir el método o la combinación de métodos adecuados depende de muchos factores que se deben investigar en los estudios preliminares a la construcción y se deben gestionar durante todo el proceso de planificación, diseño y ejecución del proyecto. En esta sección se describe brevemente cada uno de los métodos de construcción anteriormente mencionados para los sistemas ferroviarios subterráneos. En la siguiente sección se presentan las soluciones intermedias entre esos métodos y se incluyen pautas sobre cómo elegir el método de construcción más adecuado para un proyecto en particular, dadas las condiciones locales, el diseño del túnel y la capacidad institucional del organismo de ejecución del proyecto.

Falso túnel

El método falso túnel es un procedimiento de construcción simple que ofrece la mayor eficacia en función de los costos para túneles poco profundos. En la construcción mediante el método de falso túnel, se excava una sección y se techa con un soporte suspendido lo suficientemente fuerte como para

GRÁFICO 11.4. Ilustración de construcción de falso túnel ascendente y descendente



soportar la carga de lo que se vaya a construir encima del túnel. El método de falso túnel presenta dos formas básicas: ascendente y descendente (se ilustran en el gráfico 11.4) (Railsystem.net, 2015):

- *Ascendente*. En la forma ascendente, primero se excava toda la sección (suele requerir de estampidores o cimbras temporales) y después se instalan los apoyos definitivos y, luego, la losa permanente de cubierta. A continuación, la zona superior se rellena con cuidado y se reacondiciona la superficie.
- *Descendente*. En la forma descendente, la estructura permanente se construye mientras se excava la sección. Se construyen muros de soporte lateral y vigas de coronación desde el nivel de la superficie mediante métodos como muros de pantalla o pilotes barrenados contiguos. La excavación poco profunda permite utilizar vigas prefabricadas de concreto *in situ* para el techo. Luego se reacondiciona la superficie, excepto las aberturas de acceso, lo que permite reacondicionar caminos, servicios y otros elementos de la superficie. La excavación se realiza debajo del techo permanente del túnel, luego de lo cual se construye la losa de fondo.

La mayor diferencia entre la construcción ascendente y la descendente es la secuencia de las obras. En la construcción ascendente de falso túnel, primero se completa la excavación hasta llegar a la base, antes de construir los soportes y las plataformas permanentes. Esta excavación rápida, si bien necesita estar coordinada con los plazos de otras actividades de construcción del proyecto, genera mayores alteraciones en la superficie. En la construcción descendente de falso túnel, la excavación hasta llegar al fondo es más lenta, pero el nivel de superficie se libera antes, dado que se colocan losas intermedias para techos a medida que continúa la excavación en los niveles inferiores.

Dicho método puede reducir aún más la interrupción del tráfico, ya que permite restablecer el tráfico en plataformas temporales sobre la mitad de la sección que no esté en construcción y luego trasladarlo hacia la otra mitad recién construida.

Ya sea ascendente o descendente, la construcción de falso túnel puede causar grandes alteraciones en las actividades urbanas existentes sobre la superficie a lo largo del trazado y generar impactos ambientales considerables, como el polvo y el ruido. Este método solo es factible debajo de calzadas existentes, parques y otras zonas donde aún no haya edificios sobre el trazado previsto. Para la construcción de túneles más profundos o en zonas densamente urbanizadas con muchos edificios grandes sobre el trazado, el túnel se deberá excavar sin afectar la superficie. Las zanjas atravesarán las instalaciones de servicios existentes debajo de la superficie, lo que requiere importantes (y a veces costosas) desviaciones de los sistemas de agua, saneamiento, electricidad, gas y otros. Considerando la necesidad de espacio para reubicar las instalaciones de los servicios sobre la losa y para las conexiones con estaciones y otras instalaciones, se debe minimizar el espacio libre para que la zanja sea lo más estrecha posible a fin de reducir la cantidad de material de excavación. Estas alteraciones se extenderán a lo largo de todo el trazado, aunque la construcción se puede tramificar para que solo determinadas zonas se vean afectadas en un momento dado.

En entornos que presentan una urbanización acelerada, es posible que no sea factible la construcción de falso túnel para tramos largos de túneles debido al alto nivel de alteración de la superficie y a la falta de suelos no urbanizados. Sin embargo, la técnica suele utilizarse para construir estaciones subterráneas de ferrocarriles urbanos. Incluso en los nuevos sistemas construidos con otros métodos de construcción de túneles, como Crossrail de Londres, el metro de Lima, el metro de Quito y gran parte del sistema de metro de Madrid, la mayoría de las estaciones subterráneas se construyen en falso túnel. Por lo general, la construcción de falso túnel consta de dos niveles que permiten adaptaciones económicas para la sala de boletos, andenes de estaciones, accesos de pasajeros y salidas de emergencia, control de la ventilación y el humo, salas para el personal, y salas de equipos. Según el tamaño de la excavación, las estaciones en falso túnel permiten obtener mayor espacio para una amplia variedad de instalaciones, menores costos, un período de construcción más breve y menor riesgo geotécnico que los métodos de excavación tradicionales. Si el espacio sobre la superficie es limitado o las estaciones se construyen a un nivel demasiado profundo (que puede crear problemas con el acceso y el flujo de pasajeros), se podrían considerar entonces otras técnicas de excavación para las zonas de estaciones subterráneas.

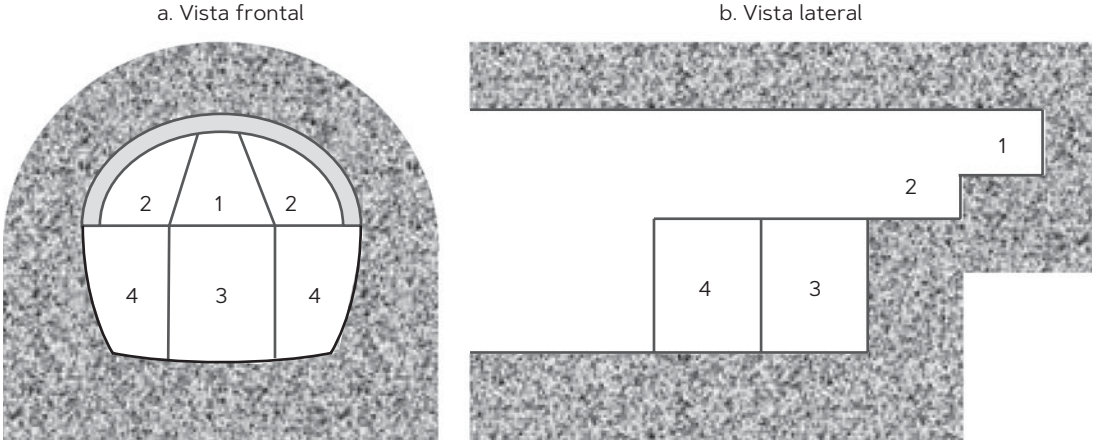
Métodos tradicionales de excavación de túneles

Existen muchos métodos tradicionales de excavación de túneles, entre los que se incluyen perforación y voladura, el método belga, el método de Madrid y el método alemán. Cualquiera de ellos puede ser viable para la construcción de tramos subterráneos de un sistema ferroviario urbano, dependiendo del tipo de suelo, el cronograma de construcción y muchos otros factores. En esta sección se hace hincapié en dos de estos métodos tradicionales de excavación de túneles: el método belga (generalmente usado para suelos más duros) y el método alemán (para suelos más blandos). Sin embargo, muchas de las repercusiones para los costos y el cronograma de ejecución del proyecto se pueden aplicar a otros métodos tradicionales de excavación de túneles que no se analizan aquí en detalle.

En el método belga de construcción subterránea, se excava en secuencias y se soporta un túnel con forma de herradura utilizando técnicas y equipos de la minería tradicional. En general, la construcción prosigue en fases, donde se excavan secciones transversales más pequeñas del túnel y luego se les coloca soportes antes de ensanchar el túnel y continuar la excavación. El método belga emplea la siguiente secuencia de operaciones enumeradas según el gráfico 11.5:

1. La excavación comienza con la construcción de la parte superior del túnel. La sección completa del arco se soporta con cerchas de acero, tablones de madera y otros soportes.

GRÁFICO 11.5. Método belga de excavación tradicional de túneles



Nota: 1. excavación de la parte superior del túnel; 2. extensión de la parte superior del túnel a cada lado; 3. excavación del centro del túnel; 4. excavación de los lados del túnel.

2. A continuación, la parte superior del túnel se extiende a cada lado y se colocan apoyos. Esto permite construir y revestir la parte superior del arco para estabilizar el terreno por encima del túnel.

3. Cuando el arco está seguro, se excava el centro del túnel y los lados se refuerzan con soportes temporales.

4. Finalmente, se excavan los hastiales del túnel, se retiran los refuerzos y se coloca el recubrimiento.

El diseño de los soportes permanentes permite que el terreno se soporte a sí mismo. Es importante cerrar rápidamente la contrabóveda (la parte inferior del túnel) para crear un anillo que soporte la carga (especialmente en suelos blandos), dado que ello permite aprovechar la fuerza del terreno que rodea al túnel. Por lo tanto, las técnicas tradicionales de excavación de túneles suelen basarse en condiciones de suelos uniformes y estables. El método belga es práctico solamente en suelos moderadamente firmes o duros donde la carga de las rocas no sea demasiado pesada; el método de Madrid utilizado para construir gran parte del sistema del metro de Madrid modificó el sistema belga para suelos más blandos.

El método alemán se suele utilizar cuando el suelo a lo largo de los muros del túnel excavado no puede soportar la carga de la bóveda y el método belga ya no es viable. Esto suele deberse a la gran sección de la bóveda o a la calidad del suelo. El método alemán se utiliza más frecuentemente para construir estaciones subterráneas que requieran grandes cavernas subterráneas (véase la imagen 11.3). Está diseñado para reducir la sección de excavación abierta y para llenar con concreto la zona excavada lo más rápidamente posible a fin de minimizar el tiempo en que se carga el soporte y, en consecuencia, controlar las deformaciones del suelo. Primero, se excavan dos galerías para crear los muros laterales. Luego, se excava y se ensancha una galería, colocando concreto en la parte superior de la bóveda, que está bien sostenida por los muros. Finalmente, se excava el centro de la sección. Tener tres galerías en lugar de una puede requerir más tiempo y dinero que el método belga, pero puede ser más adecuado, dadas las condiciones del suelo y el tamaño de la bóveda excavada.

Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles

El Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles (NATM) es un método de excavación secuencial en el que la construcción del túnel se basa en un diseño dinámico determinado por la deformación medida del terreno. La técnica del NATM moviliza la tensión de resistencia interna del terreno para que pueda soportarse a sí mismo; al redistribuirse la tensión, se obtiene estabilidad.

IMAGEN 11.3. Construcción de una estación utilizando el método alemán en la línea 6 del metro: Madrid, España

Fuente: © Metro de Madrid. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Para lograr esto, el túnel se construye en etapas que consisten en la excavación y la estabilización inmediata de los muros. Existen muchos patrones de secuenciación posibles para el NATM, según las condiciones del suelo, la sección transversal final del túnel y otros factores.

La excavación se ejecuta con perforación y voladura o con palas mecánicas, según el tipo de suelo que haya en la sección del túnel. Inmediatamente después de avanzar el frente del túnel, se instalan soportes para minimizar el aflojamiento de terreno y la excesiva deformación del suelo. En la excavación según el NATM, el nivel de soporte necesario depende de las dimensiones de la sección excavada y de las características del terreno, y se conserva la fuerza del suelo circundante como el principal componente de soporte del túnel. Como mínimo, también se brinda soporte con concreto proyectado en combinación con refuerzos de fibra o malla soldada, pero en zonas con movimiento anormal se pueden utilizar paraguas de micropilotes, bulones, y cerchas como refuerzo adicional.

Una vez instalados estos soportes, se coloca el revestimiento de concreto sobre una membrana impermeable.

Las posibles deformaciones de la excavación se deben seguir y modelar cuidadosamente. En el NATM es necesario instalar instrumentos de medición especializados en el revestimiento, el suelo y los orificios. En caso de que se observen movimientos, se frena el avance de la excavación, se intensifica el diseño del soporte y se modifican otros parámetros según corresponda. Este seguimiento hace que el método sea muy flexible, incluso si los equipos se encuentran con cambios inesperados en las condiciones del suelo o de las rocas (como grietas o agua acumulada) que no se percibieron en el informe geotécnico de referencia o en otros estudios previos.

Debido a su naturaleza secuencial, el NATM es un proceso lento (que avanza solo unos 2,5 a 3 metros por día), pero se puede modificar para abordar de manera más eficiente las condiciones específicas del suelo que se encuentra a lo largo del tramo. Esta técnica de excavación secuencial ofrece flexibilidad en el trazado y puede reducir el riesgo geotécnico. Determinar las medidas mínimas de soporte necesario a partir del seguimiento de las mediciones evita el sobregasto económico que conlleva el diseño excesivo e innecesario de soportes. Aparte de los sensores de seguimiento y el software de modelación de tensión, el equipo requerido para la ejecución del NATM es maquinaria de excavación estándar y, por lo tanto, se puede adquirir fácilmente. En consecuencia, los costos iniciales de los equipos pueden ser menores para este método que para las TBM, que pueden requerir largos períodos de adquisición y ensamblaje. Este método de construcción puede funcionar mejor para tramos subterráneos más cortos siempre que haya suficientes puntos de acceso para materiales y para la eliminación del material de excavación.

Tuneladora

Una TBM es una máquina que se usa para excavar y construir túneles con una sección transversal circular. El uso de una TBM puede industrializar el proceso de excavación, además de reducir el riesgo, el tiempo y la mano de obra. Sin embargo, las máquinas son sofisticadas y requieren un nivel considerable de habilidades en la gestión de la secuencia de construcción (en el caso del organismo de ejecución del proyecto) y en el uso de equipos especializados para las operaciones y la logística de las máquinas (en el caso del contratista). Las ventajas y desventajas de la construcción con TBM se deben analizar cuidadosamente teniendo en cuenta el diseño específico del proyecto y las condiciones locales.

La construcción con TBM comienza con el diseño y la adquisición de la máquina en sí. El diseño de las TBM presenta un diámetro fijo de excavación basado en el

diámetro interno del túnel y el grosor de las dovelas de concreto, y otro revestimiento necesario para dar soporte a las paredes del túnel (conforme a las condiciones geotécnicas y a la profundidad del túnel, entre otras características). Por lo tanto, las TBM se suelen diseñar y adquirir específicamente para un proyecto ferroviario urbano. La producción de estas máquinas personalizadas es costosa: alrededor de EUR 9 millones para un túnel con un diámetro de 7 metros (vía única) o de EUR 13 millones para un túnel con un diámetro de 9 metros (doble vía). Además, el diseño y la adquisición de estas máquinas pueden llevar alrededor de un año. En la secuencia de las obras de construcción y los acuerdos de contratación entre el organismo de ejecución del proyecto y el contratista se debe tener en cuenta el tiempo necesario para adquirir e instalar la máquina.

Durante el proceso de adquisición de la máquina, se excava un pozo de entrada para colocar la máquina ensamblada en su lugar al inicio del túnel (véase la imagen 11.4). Este ensamblaje puede llevar hasta tres meses, tiempo durante el

IMAGEN 11.4. Tuneladora Victoria descendiendo hasta el pozo de entrada

Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

cual se planifican y se construyen instalaciones auxiliares como las destinadas al suministro de energía y de agua (que es esencial), el almacenamiento y la distribución de dovelas de concreto, el transporte de los materiales de excavación y el reciclado del agua utilizada en la construcción (véase la imagen 11.5). Dependiendo de la disponibilidad de terrenos, la máquina se puede ensamblar en el punto de inicio o fuera del emplazamiento. Mover la máquina ya ensamblada es difícil y costoso, por lo que se necesita una planificación logística importante para adquirir los terrenos necesarios para la entrada y la salida, y para gestionar los cierres de vías y el transporte de máquinas grandes al pozo de entrada.

Una vez instalada, la TBM excava el túnel y transporta la tierra excavada en cintas transportadoras hasta el punto de inicio u otros pozos

IMAGEN 11.5. Una de las tuneladoras de Crossrail con suministro trasero de energía, agua y dovelas de concreto

Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

de recolección. Se utilizan dovelas de concreto prefabricadas que se introducen en la cola de la máquina y se colocan para dar soporte a las áreas excavadas a medida que la máquina avanza. Las TBM requieren un uso intensivo de recursos, esto es, necesitan un gran equipo de mano de obra para alimentar la máquina con dovelas del túnel, y energía y agua para evacuar el material de excavación. Cuando la máquina comienza la excavación, es costoso detenerla, por lo que se necesita una planificación previa minuciosa de las fases de construcción.

La tipología de la TBM varía según las características del suelo a excavar y el nivel correspondiente de soporte necesario para el frente de excavación (véase el cuadro 11.1).

En el caso de rocas duras, las TBM utilizan escudos no presurizados con cortadores en disco montados en la cabeza de corte para crear fracturas con presión compresora en la roca y poder sacarla del frente de excavación. La roca excavada luego se traslada a través de aberturas en la cabeza de corte hasta una cinta transportadora para ser retirada del túnel. La elección de una TBM con escudo simple o doble depende del tipo de roca y la velocidad de excavación requerida. Las TBM de doble escudo generalmente se usan para rocas inestables o donde se requiere una gran velocidad de avance, dado que las máquinas pueden, al mismo tiempo, excavar e instalar dovelas de concreto para revestir el túnel detrás del frente de excavación. Las TBM de escudo único, menos costosas, son más adecuadas para rocas duras y deben alternar entre la excavación y la instalación de dovelas de concreto (Spencer y otros, 2009).

CUADRO 11.1. Tipología de las TBM según las condiciones del suelo y los niveles correspondientes de sostenimiento del frente

SOSTENIMIENTO DEL FRENTE	CONDICIONES DEL SUELO	TIPO DE TBM	REVESTIMIENTO DEL TÚNEL
Ninguno	Roca dura	Tipo abierto	Medidas de refuerzo adicionales (anclajes, concreto proyectado, cerchas metálicas)
No presurizado	Roca dura o suelo estable con poca agua	Simple, escudo único	Dovelas prefabricadas de concreto
		Escudo doble	
Presurizado (activo)	Suelos blandos, incluso con alta presión de agua y grandes cantidades de aguas subterráneas	Hidroescudo	Dovelas prefabricadas de concreto
	Suelos blandos levemente cohesivos	Tuneladora EPB	

Nota: EPB = tuneladora de presión de tierras; TBM = tuneladora.

En muchos entornos urbanos, los suelos blandos y la presencia de estructuras claves sobre la superficie del trazado del túnel requieren el uso de TBM con control de frente positivo o activo para mantener la presión del suelo durante la excavación. Estas TBM mantienen la presión en la cámara de la máquina para equilibrar la presión de agua y del suelo frente a la máquina. Para suelos más blandos, las máquinas de frente activo ofrecen un mayor control del suelo que los métodos de frente abierto. Hoy en día se utilizan dos tipos de máquinas con presión en el frente: hidroescudos que utilizan bentonita y tuneladoras de presión de tierras (EPB). Tanto las EPB como los hidroescudos mezclan el material excavado con aditivos. Esto complica la gestión del material excavado que requiere un tratamiento para reducir el agua y los aditivos en la tierra antes de poder reutilizarla.

En los hidroescudos, la tierra excavada se mezcla con lodo bentonítico para generar presión positiva al frente. La mezcla de tierra y lodo se bombea a una planta ubicada fuera del túnel que separa el lodo bentonítico y lo hace recircular hasta el frente de la máquina a través del circuito de alimentación. El tratamiento y la recirculación del lodo se deben considerar al diseñar la distribución del emplazamiento de construcción, dado que estas instalaciones necesitan mucho espacio. Esta mezcla y la presión que se genera se pueden usar para suelos con distinto grado de dureza, siempre que la máquina no se encuentre con frentes rocosos grandes y duros.

Para suelos suaves y levemente cohesivos sin presión importante de agua, una alternativa a la tuneladora con escudo (TBM) es la EPB. En las máquinas EPB, la tierra ingresa a la TBM a través de la rotación de un transportador que permite mantener equilibrada la presión en el frente de la TBM sin usar lodo. El material excavado se retira con una cinta transportadora.

Detrás del frente de cualquier TBM con escudo o presurizada se establece un elevador de dovelas de concreto, que reviste el frente del túnel con corte uniforme con dovelas prefabricadas de concreto. Detrás de esto, dentro de la parte acabada del túnel, se encuentran las salas de control del operador y el sistema de soporte posterior. Los sistemas de soporte pueden incluir cintas transportadoras u otros sistemas para transportar tierras, tuberías para transportar lodo (si corresponde), electricidad, eliminación de polvo y ventilación, y mecanismos para transportar las dovelas prefabricadas de concreto. Es fundamental elaborar una estrategia cuidadosa para la logística de la entrega del material desde y hacia la TBM para un uso eficiente y seguro de las máquinas. Cuando se completa la excavación y la TBM llega al pozo de extracción, esta última se desarma y las piezas se transportan a una ubicación segura. Sin embargo, en algunos casos

(como con los de las TBM en Crossrail), es más seguro o menos costoso dejar las piezas de las TBM en el suelo en lugar de retirarlas (Dhillon, 2014).

Túnel in situ

En las zonas no tan densamente desarrolladas pero que reciben infraestructura ferroviaria urbana para apoyar el crecimiento proyectado de la actividad urbana y la demanda de viajes, se puede excavar una zanja y se pueden construir la base de concreto, los muros y la bóveda (véase la imagen 11.6). Así, la estructura se impermeabiliza en la parte exterior y la zanja se rellena, enterrando la estructura del túnel. En un entorno urbano, el túnel *in situ* debe extenderse a lo largo de las calles principales de la ciudad de manera tal de minimizar el impacto de las actividades de construcción sobre la superficie. Con frecuencia, este método se usa para servicios ferroviarios regionales o metropolitanos en la periferia de la ciudad donde existen áreas de terreno disponibles más grandes.

IMAGEN 11.6. Construcción de túnel *in situ* en la línea 12 Metro Sur: Madrid, España

Fuente: © Metro de Madrid. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Elección del método de construcción adecuado para tramos subterráneos

No existe un único método ideal de construcción para tramos subterráneos. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, y requiere inversión en estudios previos a la construcción, así como una gestión y una secuenciación activas de las obras. Al elegir el método de construcción deben tenerse en cuenta muchos factores, entre ellos el presupuesto del proyecto y de la construcción (incluidos la construcción inicial y los costos de capital, además de los costos de operación y mantenimiento del sistema a largo plazo), el alcance, el cronograma, la tecnología y los recursos localmente disponibles, la capacidad técnica del organismo de ejecución del proyecto, y la disponibilidad de licitantes (véase el cuadro 11.2).

Entre los factores adicionales que afectan la factibilidad de los métodos de construcción subterránea se incluyen el diseño de los túneles (longitud, diámetro y profundidad) y las condiciones investigadas en los estudios previos a la construcción; es decir, las condiciones hidrogeológicas en el trazado, los impactos sociales, ambientales, para la salud y la seguridad, y el inventario de edificios y el plan de gestión de asentamientos. Las consideraciones de gestión incluyen la capacidad y los conocimientos técnicos del organismo de ejecución del proyecto y toda experiencia previa en construcción subterránea en la ciudad y el país receptores. Si el organismo de ejecución del proyecto carece de capacidad técnica, debe formular planes para fortalecerla a tiempo para que comience la construcción de la obra civil.

En muchas líneas de transporte ferroviario urbano con tramos que se sitúan en diferentes trazados en planta y alzado, se pueden combinar varios métodos de construcción en un proyecto. Sin embargo, esta complejidad implica muchos desafíos contractuales y en materia de adquisiciones, y es posible que no se emplee la economía de escala inherente a algunos de estos métodos de construcción (como las TBM) que resultan ser más eficaces en función de los costos cuando se emplean para construir una parte más grande del trazado del túnel. Sin embargo, los túneles se suelen excavar utilizando TBM u otras técnicas, mientras que las estaciones y la entrada de los túneles con una rampa hasta la superficie se construyen utilizando el método de falso túnel. En la mayoría de los casos, los patios de maniobras se construyen fuera del centro urbano y las vías de los sistemas subterráneos o elevados en el centro urbano se trasladan a un sistema a nivel para conectarlas con estos patio talleres para mantenimiento y cocheras. Por lo tanto, los responsables de la toma de decisiones deben poseer un conocimiento básico de las implicaciones y los principales requisitos de todos los métodos de construcción disponibles para proyectos ferroviarios urbanos (incluso en los casos donde la selección final del método de construcción está a cargo del licitante ganador).

CUADRO 11.2. Comparación de los diferentes métodos de construcción para tramos subterráneos

CONSIDERACIÓN	TBM	MÉTODOS DE EXCAVACIÓN TRADICIONAL Y NATM	FALSO TÚNEL	TÚNEL *IN SITU*
Competitividad en el costo	Alto costo inicial de los equipos; ideal para túneles más largos	Menor costo inicial de los equipos, pero menor velocidad de excavación; puede ser más rentable para túneles más cortos (o con condiciones de suelo diversas)	Costo variable, según la profundidad y la interferencia con las redes de suministro existentes	Principalmente usado para economía y seguridad; reduce la incertidumbre
Velocidad de excavación	~10 a 15 metros por día	*Método belga y NATM:* ~2 a 3 metros por día *Método alemán:* ~0,5 metros por día	Altamente variable	~100 metros por mes
Adquisición temporal de terrenos	Mucho terreno necesario para instalaciones de soporte de la TBM	Limitado a pozos, accesos, estaciones y zonas de mantenimiento y almacenamiento	Terreno necesario en todo el derecho de vía	Terreno necesario en todo el derecho de vía
Instalaciones de servicios	Desviación de instalaciones de servicios públicos en pozos, accesos y estaciones	Desviación de instalaciones de servicios públicos en pozos, accesos y estaciones	Se requiere la desviación de instalaciones de servicios públicos en toda su extensión; mayor necesidad de desviaciones	Se requiere la desviación de instalaciones de servicios públicos en toda su extensión; mayor necesidad de desviaciones
Gestión del tráfico	Transporte de tierra	Transporte de tierra	En toda su extensión (no necesariamente al mismo tiempo) y transporte de tierra	Transporte exterior de tierra; gran movimiento de tráfico interior
Arqueología	En pozos y accesos; en el túnel, menos probable mientras más profundo	En pozos y accesos; en el túnel, menos probable mientras más profundo	Riesgo alto	Riesgo alto
Medio ambiente	Eliminación de tierra	Eliminación de tierra	Eliminación de tierra y efecto barrera	Fuerte impacto temporal; se necesitan grandes zanjas con gran eliminación de tierra; elimina los tratamientos del suelo; mejor control de subsidencia
Trazado	Limitación geométrica en el radio de la TBM	Muy flexible en trazados en planta y alzado; muy bueno para escaleras mecánicas, conexiones *Método alemán:* particularmente útil para grandes secciones de estaciones	Trazado vinculado con el espacio público disponible en superficie	Más flexible porque la construcción es a cielo abierto; mejor para infraestructura de conexión y especial

Nota: NATM = Nuevo Método Austríaco de Construcción de Túneles; TBM = tuneladora.

Conclusiones y recomendaciones

La rápida urbanización de las regiones metropolitanas en todo el mundo requiere la implementación de sistemas de transporte urbano de alta capacidad. Esa capacidad se logra fundamentalmente con una vía segregada exclusiva, que permite una alta frecuencia de vehículos pesados. Esta vía segregada exclusiva se puede construir sobre la superficie, pero el costo económico y social cada vez más alto de los terrenos urbanos y las alteraciones a las actividades existentes en la superficie han llevado a las ciudades a considerar alternativas como los sistemas ferroviarios elevados o subterráneos. La mayoría de los nuevos sistemas ferroviarios de las áreas urbanas densas se desarrolla con tramos elevados o subterráneos. Independientemente del trazado en alzado y del método constructivo elegido, la construcción de ferrocarriles urbanos requiere mucha cautela en lo que respecta a la planificación previa a la construcción y la gestión de la ejecución del proyecto.

Destinar tiempo y dinero a la ejecución de estudios preliminares de calidad reduce el riesgo durante el período de construcción y brinda información fundamental para determinar el método constructivo adecuado para cada tramo. Todos los proyectos ferroviarios urbanos se benefician de la inversión inicial en estudios para comprender las características geotécnicas del emplazamiento; las repercusiones en materia de medio ambiente, seguridad y salud; los impactos sociales del proyecto; la disponibilidad de terrenos; la ubicación de las instalaciones de servicios, y muchas otras condiciones locales. Muchas de estas condiciones locales determinarán la adecuación de los diferentes métodos de construcción y la secuencia de las obras. Aunque el nivel de detalle de estos estudios dependerá del diseño del proyecto, el método de contratación y otros factores, es fundamental invertir en los estudios previos a la construcción. Mientras más detallados sean los estudios, menores serán el riesgo y la incertidumbre relacionados con el diseño del proyecto y la metodología de construcción empleada.

Las decisiones que se toman en las primeras etapas de los procesos de planificación y diseño pueden tener un efecto importante en el tiempo y el costo de la construcción. Muchos de los impactos de la construcción de los ferrocarriles urbanos dependen de las decisiones tomadas durante la planificación (capítulo 4) y el diseño del proyecto (capítulos 5 y 6). Por lo tanto, el método constructivo y la secuencia de las obras necesarias para ejecutar el proyecto se deben analizar cuidadosamente a medida que este se diseña, dado que es mucho más costoso realizar cambios después de comenzada la construcción. Es posible que muchos países que implementan su primera línea de ferrocarril urbano no tengan experiencia con algunas de las complejidades inherentes a este tipo de construcción. Es importante que busquen apoyo externo y

fortalezcan la capacidad interna para la planificación y el diseño antes de comenzar con la construcción.

Es fundamental que exista una buena comunicación con todas las partes interesadas pertinentes durante la planificación previa a la construcción y la ejecución real. Incluso la construcción del ferrocarril urbano mejor gestionado altera las actividades urbanas y afecta a muchas partes interesadas, entre ellas contratistas de construcción, municipios, propietarios de empresas de servicios públicos, otras empresas de sistemas de transporte, propietarios de negocios y edificios, y residentes locales. Los proyectos ferroviarios urbanos son enormes y requieren un gran nivel de trabajo en equipo y colaboración. Por lo tanto, es fundamental comunicarse con todas las partes interesadas involucradas y hacer participar a la comunidad en la identificación de los posibles impactos y en la mitigación de los efectos a corto plazo de la construcción y los efectos a largo plazo de las operaciones.

La construcción ofrece una oportunidad para fortalecer los conocimientos y la capacidad de personal de la institución, y para hacer participar a la comunidad. Los proyectos de construcción de ferrocarriles urbanos son muy grandes y alteran las actividades urbanas. Si bien es importante identificar y mitigar los impactos negativos de la construcción, también es importante pensar en maneras de aprovechar estos proyectos para generar valor más allá de la construcción de la nueva infraestructura de transporte para la ciudad y sus residentes. Algunos ejemplos de valor agregado pueden ser el perfeccionamiento profesional de la mano de obra y la retención de nuevos conocimientos técnicos, o la oportunidad de replantear y rediseñar los espacios urbanos alterados —especialmente en torno a estaciones de ferrocarril urbano y debajo de trazados elevados— para lograr comunidades más habitables con nuevas zonas comerciales, recreativas y culturales.

Notas

Los autores desean agradecer a Juan Pablo Alonso Rodríguez, de BusTren, y a Juan Antonio Márquez Picón, de Metro de Madrid, por sus aportes de contenidos; a los revisores Daniel Pulido, Irene Portabales, Stephen Muzira, Wendy Jia, Jorge Rebelo, Navaid Qureshi y Gerald Ollivier, del Banco Mundial, y a Yves Amsler, Dionisio González y Laurent Dauby, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. Los servicios urbanos y las redes de suministro se suelen desarrollar conforme a la distribución de la red vial. Por lo tanto, reducir la necesidad de adquirir terrenos planificando el trazado ferroviario urbano sobre el derecho de vía público existente puede requerir tiempo y costos adicionales para proteger y desviar las instalaciones de servicios.
2. Es posible que se deban compensar y demoler edificios de alto riesgo, y que se deban reasentar trabajos y viviendas. Todo plan de mitigación para el asentamiento del terreno debe tener en cuenta los impactos sociales causados por el reasentamiento.

Bibliografía

Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos (Alamys) (2017), "Mujeres de comunidad Shipibo Coniba de Perú plasman su arte en columnas de la Línea 1 del Metro de Lima", *Alamys Press Room Online*, 6 de abril, https://www.alamys.org/es/noticias/mujeres-de-comunidad-shipibo-coniba-de-peru-plasman-su-arte-en-columnas-de-la-linea-1-del-metro-de-lima/.

Bordas Geli, Montserrat (2016), "Los pasos elevados en el medio urbano: Experiencia internacional y factores de éxito", presentación a cargo del Banco Mundial, Cusco, Perú, noviembre.

Crossrail (2017), "Beneficially Re-Using Material Excavated during Crossrail's Construction", Crossrail, Londres, http://www.crossrail.co.uk/construction/tunnelling/excavated-material.

Dhillon, Anil (2014), "C300 Western Running Tunnels and Caverns Project—TBM Shield Burial and Backup Removal", *Crossrail Project: Infrastructure Design and Construction*, pp. 171-87, editado por Mike Black, Christian Dodge y Ursula Lawrence. Londres, Institution of Civil Engineers, http://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/cpid.61026.171.

Railsystem.net (2015), *Cut and Cover*, Everything about Rail System, http://www.railsystem.net/cut-and-cover/.

RSA Geotechnics, s. f. *What Is Site Investigation?*, RSA Geotechnics, Suffolk, Nueva Zelandia, http://www.rsa-geotechnics.co.uk/site-investigation/what-is-site-investigation-2/.

Royal Society for the Protection of Birds (RSPB) Press Office (2017a), "Record Number of Birds Visiting New Haven on Wallasea Island", *Crossrail, Ltd. News Online*, 24 de julio.

——. (2017b), "Wallasea Island Sea Wall Breach Marks Significant Step in Landmark UK Conservation Project", *Crossrail, Ltd. News Online*, 13 de julio.

Spencer, Michael, Alessandro Stolfa, Eric Bentz, Steve Cross, Chris Blueckert, John Forder, Heiko Wannick, Beat Guggisberg y Ronan Gallagher (2009), "Tunnel Boring Machines", documento de grupo de trabajo 60 (09), International Association of Engineering Insurers, Estambul, https://www.imia.com/wp-content/uploads/2013/05/TBM-WG60-f-021209.pdf.

Lecturas adicionales

Oficina del Consejo de Ministros (2011), *Government Construction Strategy*, Oficina del Consejo de Ministros, Londres.

Railsystem.net (2015a), *New Austrian Tunneling Method (NATM)*, http://www.railsystem.net/natm/.

——. (2015b), Tunnel Boring Machine (TBM), http://www.railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/.

Albrook 10:14
Albrook 05 min - Corto
102

12 ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL Y GESTIÓN DE LOS FERROCARRILES URBANOS

Georges Darido y Joanna Moody

Cuando la urbanización da origen a áreas metropolitanas que abarcan varios municipios, las necesidades de transporte trascienden las fronteras de diferentes Gobiernos municipales conectados espacialmente. La coordinación de estas necesidades requiere de un enfoque institucional con alcance regional. Cuando los viajes locales se extienden a lo largo de varios municipios, es necesario que las autoridades gubernamentales trabajen juntas para implementar un conjunto coherente y coordinado de intervenciones relativas al transporte. Asimismo, debido a la necesidad de cierta uniformidad en las normas y coherencia en las políticas —como el establecimiento de tarifas y el financiamiento para operaciones y mejoras de transporte—, será preciso que exista una coordinación institucional a nivel tanto regional como nacional. Los Gobiernos regionales y nacionales también pueden aprovechar las economías de escala a través de la coordinación y la realización de actividades que resulten de interés para varias ciudades, como el fortalecimiento de la capacidad y la investigación.

Además de atravesar límites jurisdiccionales, los viajes a menudo suponen varios tramos en diferentes modalidades, por ejemplo, dirigirse a pie hasta la parada de autobús más cercana, abordar un autobús local y luego realizar una conexión a alguna forma de transporte público de alta capacidad. Al haber varias modalidades

Fotografía: Metro de la Ciudad de Panamá, 2018. *Fuente:* -BY-NC 2.0).

involucradas, la planificación integrada del transporte resulta fundamental para garantizar conexiones fluidas entre ellas, minimizar las conexiones, establecer una estructura tarifaria y de pago común, y brindar información real sobre el origen y el destino de los pasajeros. Por consiguiente, las modalidades no pueden considerarse de manera aislada, sino que cada una debe examinarse como parte de un "sistema de transporte jerárquicamente integrado", en coordinación con las demás modalidades de transporte urbano (véase el capítulo 2).

Las deficiencias institucionales son el origen de muchas falencias en el transporte urbano. La capacidad de las áreas metropolitanas de emprender un proceso cabal de planificación y toma de decisiones que esté integrado espacial, sectorial y jerárquicamente muchas veces se ve limitada por el alto grado de fragmentación de las estructuras de gestión del transporte urbano (Gwilliam, 2002). Generalmente, hay varios organismos, a menudo pertenecientes a distintos niveles del Gobierno, involucrados en los diferentes aspectos del transporte urbano. Al mismo tiempo, es necesario un pensamiento integral que conecte el transporte con otras estrategias clave de uso del suelo y desarrollo económico (véase el capítulo 3). En vista de esta complejidad, la coordinación y el liderazgo institucional entre los diferentes ámbitos y las diferentes funciones resultan esenciales para la formulación de un enfoque integrado y exhaustivo para abordar los problemas inherentes al transporte urbano.

En reconocimiento de estos problemas, hay cada vez más material bibliográfico que ofrece ejemplos exitosos de autoridades metropolitanas de transporte o entidades similares que han sido capaces de coordinar sistemas de transporte multimodal más allá de las fronteras municipales, en conjunto con otros aspectos del programa de desarrollo de las regiones urbanas en crecimiento (Gwilliam, 2002; Heanue y Salzberg, 2011; Kumar y Agarwal, 2013). En este capítulo se analizan brevemente las buenas prácticas en relación con la estructura y la gestión institucional de un sistema de transporte multimodal integrado a nivel de las regiones metropolitanas, para luego hacer hincapié en qué pueden hacer estas autoridades para constituir instituciones específicas y facultarlas para que ejecuten y operen proyectos ferroviarios urbanos en el marco de este sistema de transporte más amplio.

Dentro de un sistema de transporte multimodal debidamente integrado, los ferrocarriles urbanos pueden brindar un servicio de alta capacidad y alta calidad y también contribuir al crecimiento económico y a una alta calidad de vida. Los sistemas ferroviarios urbanos son el resultado de megaproyectos, y su éxito requiere de instituciones sólidas tanto durante la ejecución como a lo largo de toda la vida operativa del sistema. En este capítulo se resumen las funciones y

las características de estas instituciones junto con otras consideraciones que deben contemplar los responsables de la toma de decisiones durante la planificación, el diseño, la ejecución y la operación de un proyecto ferroviario urbano.

Gestión de transporte para la región metropolitana

Los sistemas ferroviarios urbanos no funcionan de manera aislada, sino que brindan su máximo beneficio a la región metropolitana cuando están integrados (en términos de infraestructura física, planificación y servicio de las operaciones, y tarifas) a un sistema de transporte multimodal (véase el capítulo 2). Este sistema de transporte multimodal jerárquicamente integrado en una región metropolitana involucra múltiples dimensiones: modalidades de viaje y su correspondiente nivel de servicio, uso del suelo, medio ambiente, salud, tecnología, economía y finanzas, política, comportamiento humano y aspectos demográficos (como edad y género). Todas estas dimensiones están interconectadas entre sí y deben ser evaluadas, planificadas y gestionadas de una manera integral y holística. Como resultado, estos sistemas requieren de coordinación entre instituciones con diferentes autoridades e intereses. Esta coordinación institucional es crucial para una integración eficaz del sistema que permita materializar la mayor cantidad posible de beneficios de los ferrocarriles urbanos y demás servicios de transporte.

En la mayoría de los casos, es necesaria una autoridad metropolitana de transporte u otro órgano regional para coordinar la estrategia de movilidad y uso del suelo de la ciudad (Rebelo, 1998). Esta autoridad es responsable de la eficiencia económica, la accesibilidad regional y la sostenibilidad de todo el sistema de transporte a largo plazo a través de la planificación maestra, la asignación de recursos financieros entre las jurisdicciones gubernamentales, la promoción de la integración de las modalidades y el fomento adecuado de la participación del sector privado (Rebelo, 1998). Una autoridad metropolitana de transporte es quien mejor equipada está para decidir si es conveniente o no implementar una solución de ferrocarril urbano (véase el capítulo 3) y para crear las estructuras institucionales y los mecanismos financieros y de fondeo necesarios para llevar a cabo una inversión de este tipo (véanse las siguientes secciones de este capítulo).

En el recuadro 12.1 se detallan los principios clave que deben considerarse al crear o reformar las instituciones de transporte regionales (para conocer otros grandes recursos dedicados a las instituciones de transporte regionales, véanse Gwilliam, 2002; Heanue y Salzberg, 2011; Kumar y Agarwal, 2013).

RECUADRO 12.1.

Principios para el desarrollo y la coordinación institucional del transporte regional

No existe un único plano institucional para el transporte urbano que sea adecuado para todos los países. Sin embargo, hay suficiente experiencia sobre las dificultades que se originan ante la falta de convergencia entre las políticas de los diferentes organismos y jurisdicciones —o ante la falta de colaboración entre ellos— para establecer principios generales a fin de reducir los impedimentos institucionales y de gestión que atentan contra la integración eficaz de las políticas y los servicios de transporte.

Para el fortalecimiento de la capacidad funcional y la formación de los recursos humanos

- Los organismos de transporte municipales o metropolitanos deben establecer una estructura administrativa dentro de la cual las responsabilidades respecto de todas las funciones técnicas necesarias en el transporte urbano se identifiquen y asignen de manera clara (véase el capítulo 4).
- Los Gobiernos centrales deben formular una estrategia de capacitación para el desarrollo de las aptitudes profesionales y técnicas requeridas en el ámbito del transporte urbano.
- Inicialmente, las escasas aptitudes profesionales deben concentrarse y conservarse por medio de una remuneración adecuada, ya sea en unidades del sector público o en organizaciones de consultoría del sector privado.
- Debe alentarse la colaboración entre las autoridades tanto a nivel nacional, para compartir las aptitudes disponibles, como a nivel internacional, para fortalecer las aptitudes y profundizar la experiencia.

Para la coordinación jurisdiccional

- La asignación de responsabilidades entre los diferentes niveles del Gobierno debe establecerse claramente por ley.
- Las transferencias intergubernamentales deben planificarse cuidadosamente y en línea con la asignación de responsabilidades.
- Deben crearse mecanismos institucionales formales para la colaboración cuando una conurbación continua se extienda a través de varios municipios.
- El Gobierno central debe fomentar la coordinación a nivel metropolitano.
- Las obligaciones legalmente impuestas sobre las autoridades locales deben vincularse con canales específicos de financiamiento (como el fondeo directo por parte del organismo de una tarifa reducida o del transporte público gratuito).

Para la coordinación funcional

- La planificación detallada, tanto del transporte como del uso del suelo, debe alinearse con un plan estratégico de uso del suelo y transporte a nivel municipal o metropolitano (véase el capítulo 3).
- Las funciones deben asignarse de manera clara entre los organismos, y las más estratégicas deben quedar en manos del sector público de nivel superior en las áreas metropolitanas.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 12.1.

Principios para el desarrollo y la coordinación institucional del transporte regional *(Continuación)*

- La policía de tránsito debe estar capacitada en gestión del tráfico y administración de la seguridad y debe participar colaborativamente en la planificación de las políticas de transporte y seguridad.
- La responsabilidad respecto de la seguridad vial debe asignarse de manera explícita, y la responsabilidad institucional debe corresponder al máximo nivel de la administración local (alcaldía o su equivalente).

Para una participación eficaz del sector privado

- La responsabilidad respecto de la planificación y de la operación del transporte público debe estar institucionalmente separada, de modo que la operación pueda comercializarse o privatizarse en su totalidad.
- La normativa técnica debe estar separada de la normativa económica y de las adquisiciones.
- Debe alentarse el desarrollo de nuevos proveedores privados competitivos a través del reconocimiento legal de las asociaciones, entre otras medidas.
- Debe establecerse un marco jurídico claro para la competencia en la oferta de transporte público, ya sea en el mercado o para el mercado.
- El sector público debe fortalecer las aptitudes relacionadas con las adquisiciones de servicios profesionales y el cumplimiento de contratos.

Fuente: Gwilliam, 2002.

Marco institucional para la implementación y las operaciones de los ferrocarriles urbanos

Existen al menos tres funciones institucionales bien diferenciadas involucradas en la gestión de un proyecto o sistema ferroviarios urbanos: la autoridad, el organismo de ejecución o gestión del proyecto, y el operador (véase el cuadro 12.1). Cuando hay involucrados fondos públicos, la autoridad (o el propietario del proyecto, como se lo describe en el capítulo 8) es una entidad pública o un representante del Gobierno sobre quien recae la responsabilidad final respecto de la toma de decisiones sobre políticas estratégicas, planes y regulaciones sectoriales, y fondeo y administración de contratos. El organismo de ejecución del proyecto es responsable de tomar las decisiones técnicas y de otorgar los contratos correspondientes para la planificación, el diseño, la construcción, y la operación y mantenimiento (O&M) de una línea o sistema cuya supervisión corresponde a la autoridad. El operador, ya sea una entidad pública

CUADRO 12.1. Tres instituciones y sus principales funciones en la gestión de un sistema ferroviario urbano

INSTITUCIÓN	FUNCIÓN
Autoridad	• Estrategia de movilidad urbana y uso del suelo; planificación a largo plazo • Fondeo y política tarifaria • Integración multimodal
Organismo de ejecución o gestión	• Planificación, supervisión y coordinación de la ejecución del proyecto • Coordinación de las partes interesadas del proyecto
Operador	• Operaciones diarias y mantenimiento • Planificación del servicio

o privada, tiene contacto directo con el proyecto, los usuarios, los activos y el negocio de la prestación del servicio, sujeto a la supervisión por parte del organismo de ejecución del proyecto y de la autoridad. La función del operador es fundamental para el éxito de un sistema de ferrocarriles urbanos. No obstante, surge y existe en el marco de un entorno normativo establecido por la autoridad e implementado por el organismo pertinente.

La autoridad

La autoridad o el propietario del sistema ferroviario urbano es una entidad pública (o, más frecuentemente, un grupo de entidades públicas pertenecientes a todos los niveles del Gobierno) que desempeña las siguientes funciones estratégicas:

- Aprueba la estrategia y las políticas de transporte urbano a largo plazo y decide cuándo y dónde elaborar proyectos ferroviarios urbanos como parte de la estrategia de transporte urbano (véase el capítulo 3).
- Selecciona la estrategia de adquisiciones y el modelo de ejecución del proyecto (véase el capítulo 8) y delega responsabilidades en el organismo de ejecución del proyecto y los operadores a través de contratos de obras, bienes o servicios para la planificación, el diseño, la ejecución, la operación o el mantenimiento del proyecto o sistema ferroviario urbano; en el desempeño de estas funciones, licita, con el sumo cuidado que amerita el proceso, funciones tácticas u operativas a empresas privadas (véase el capítulo 9).
- Obtiene fondos o financiamiento para los proyectos y sistemas ferroviarios urbanos (véase el capítulo 10).

- Asume, en última instancia, los riesgos del proyecto que no pueden transferirse a otras partes, como cualquier riesgo desconocido que no haya salido a la luz a través de estudios o investigaciones (véase el capítulo 7).
- Verifica que el organismo de ejecución del proyecto y los operadores tengan un nivel suficiente de experiencia, capacidad y recursos para llevar a cabo la planificación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de un proyecto o sistema; en particular, implementa las políticas y regulaciones que le permitirán al organismo de ejecución del proyecto y a los operadores desempeñar las funciones que se les hayan asignado.

La autoridad puede tener un mandato más allá de los ferrocarriles urbanos, como varias modalidades o sistemas de transporte, o puede representar a varias entidades o jurisdicciones, como un área metropolitana con varios municipios. Un proyecto que involucre a varias jurisdicciones o niveles del Gobierno también puede tener varios propietarios y partes interesadas. En estos casos, se recomienda establecer un directorio con representantes de los propietarios de todas las entidades y jurisdicciones (véase el ejemplo de la Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington (WMATA) que se describe en el cuadro 12.5 más adelante en este capítulo).

Inicialmente, la autoridad puede ser una o más oficinas existentes del Gobierno nacional, estatal o local, con personal especializado recientemente contratado o "prestado" que se dedique a los objetivos del proyecto o sistema. Cuando el proyecto avance a las etapas de construcción y operación, lo más recomendable es crear una oficina o un departamento especial del Gobierno dedicado exclusivamente a los ferrocarriles urbanos. Debe haber un directorio que represente a todos los propietarios y demás partes interesadas. Los miembros del directorio deben tener un perfil profesional adecuado para supervisar al organismo de ejecución del proyecto y a los operadores (véase el ejemplo de Transport for London en el cuadro 12.5).

La autoridad supervisa al organismo de ejecución del proyecto y a los operadores y puede delegar funciones a una o más de estas entidades. La autoridad necesita el apoyo de personal capaz y generalmente depende de la capacidad técnica y administrativa del organismo de ejecución del proyecto. Sin embargo, si las estructuras institucionales son débiles o incipientes o las funciones de gestión están privatizadas, la autoridad debe obtener el apoyo directo de asesores especializados —por lo general, expertos externos contratados en calidad de consultores— para garantizar la supervisión, la seguridad y otros objetivos generales de la gestión del proyecto. Incluso cuando se utilizan consultores técnicos y de supervisión para complementar la capacidad interna, las responsabilidades de toma de decisiones y supervisión deben permanecer en manos de la autoridad.

El organismo de ejecución o gestión del proyecto

El organismo de ejecución del proyecto es una o más entidades públicas sobre quienes recae la responsabilidad técnica y administrativa respecto de los contratos para la planificación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de una línea o un sistema ferroviario urbano. Entre las funciones del organismo de ejecución del proyecto normalmente se incluyen las siguientes:

- Lleva a cabo los estudios, el diseño preliminar y los análisis técnicos necesarios para que la autoridad decida elaborar un proyecto ferroviario urbano (véase el capítulo 3).
- Establece el plan de gestión del proyecto, las especificaciones técnicas, el nivel de servicio y de calidad, las normas de seguridad vial y personal, los cronogramas y los presupuestos para los proyectos y sistemas (véanse los capítulos 4 y 5).
- Supervisa los contratos para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento del proyecto ferroviario urbano.
- Coordina con todas las partes interesadas y las entidades de cofinanciamiento (si corresponde) del proyecto para garantizar que se cumplan todos los requisitos legales, técnicos y financieros; por ejemplo, la implementación de todas las salvaguardas sociales y ambientales (véanse los capítulos 14 y 15) exigidas por las instituciones internacionales de desarrollo.
- Gestiona o dirige los procesos para la adquisición de terrenos, la obtención de permisos, la reubicación de servicios públicos y la resolución de cualquier obligación pública con el fin de promover el diseño o la construcción del proyecto (véase el capítulo 11)[1].

El organismo de ejecución del proyecto puede ser una subsidiaria de la autoridad con una misión delegada, pero debe estar facultado para tomar decisiones técnicas en nombre de la autoridad. Cuando no hay ningún organismo de ejecución del proyecto, lo más recomendable es crear una unidad de ejecución del proyecto (UEP) especial mediante la contratación o la incorporación a préstamo de personal competente de todos los organismos o departamentos gubernamentales pertinentes con el propósito especial de ejecutar un proyecto ferroviario urbano.

Cuando hay varios operadores independientes, es posible que sea necesario contar con un organismo de gestión especial para regular estos contratos y garantizar un sistema debidamente integrado y coordinado. En tales casos, este organismo de gestión debe ser independiente de cualquier interferencia política indebida y contar con una fuente de fondos y

una estructura de gestión estables, además de las capacidades técnicas y administrativas necesarias para desempeñar la función de regulador.

El operador

El operador es una o más entidades, públicas o privadas, que tienen a su cargo la operación de los activos de ferrocarriles urbanos y la prestación de los servicios a los usuarios. Un operador público puede ser una subsidiaria de un organismo público si existen motivos suficientes para monopolizar la operación; de lo contrario, el organismo de ejecución del proyecto podrá adjudicar los contratos de operación a operadores privados a través de procesos de licitación pública. Los operadores pueden existir en un entorno de competencia regulada para los contratos de servicios o bien pueden tener derechos exclusivos para operar líneas o áreas de un sistema. La autoridad toma la decisión clave con respecto a la cantidad y los tipos de operadores que debe tener un sistema, mientras que el organismo de ejecución del proyecto implementa esa decisión y las políticas relacionadas a través de la supervisión directa del operador y su desempeño. Entre las funciones del operador normalmente se incluyen las siguientes:

- Brinda asesoramiento durante la planificación y el diseño técnico de un proyecto ferroviario urbano para garantizar la eficiencia y la sostenibilidad de la operación.
- Realiza la O&M, incluidas la planificación de servicios y la gestión de activos a corto plazo (véase el capítulo 13).

Las dos últimas secciones de este capítulo se centran en la estructura organizativa y en el entorno propicio del operador del transporte ferroviario urbano. En la primera de estas secciones, se presenta un espectro de estructuras organizativas para operadores de transporte ferroviario urbano tanto públicos como privados y se analizan algunas de las ventajas y desventajas clave respecto de la eficiencia operativa, el nivel de conectividad y control gubernamental, y la distribución equitativa del servicio. En la segunda se brindan pautas claras sobre cómo facultar al operador de transporte ferroviario urbano mediante el establecimiento de funciones y responsabilidades claras, la provisión de una fuente de financiamiento estable y segura, y la creación de un marco de gestión que brinde autonomía y responsabilidad. Si bien parte del análisis que se hace en este capítulo puede resultar más útil para proyectos ferroviarios urbanos en ciudades sin sistemas previos, las recomendaciones de esta última sección son aplicables a instituciones de ferrocarriles urbanos tanto existentes como nuevas.

Factores de éxito en el establecimiento de instituciones de ferrocarriles urbanos

Habida cuenta de la magnitud y la complejidad de los proyectos ferroviarios urbanos, las autoridades pueden ver su desarrollo como una oportunidad para reestructurar instituciones existentes en relación con sus funciones y responsabilidades, sus estructuras de fondos o su gestión. Las instituciones existentes son la opción natural para la ejecución de un proyecto (véase el capítulo 4) y su operación (véase el capítulo 13). Las decisiones revisten mayor complejidad en el caso de las ciudades que emprenden proyectos ferroviarios urbanos por primera vez. La mayor parte de esta sección está dedicada a estos casos; no obstante, cualquier ciudad que ya cuente con instituciones de ferrocarriles urbanos puede beneficiarse de las enseñanzas clave que se sintetizan a lo largo del capítulo.

Evaluación temprana y exhaustiva del marco institucional

El marco institucional en torno a la ejecución y la operación de proyectos ferroviarios urbanos puede actuar como un propiciador esencial o bien como un obstáculo en la ejecución eficaz y eficiente de la infraestructura y el servicio. Las decisiones en cuanto a quién debe supervisar o gestionar la ejecución (incluidos la planificación, el diseño y la construcción) y la operación (incluido el mantenimiento) de un sistema ferroviario urbano no son triviales y deben tomarse en las primeras instancias del proceso de desarrollo del proyecto, a fin de permitir la debida estructuración de las instituciones para que puedan ejercer las funciones que se les han asignado. Estas decisiones dependerán, en primer lugar, de si ya existe o no un sistema ferroviario urbano en la ciudad y de su marco institucional heredado. Si no existe ningún sistema ferroviario previo, deberá establecerse la estructura institucional para una autoridad, un organismo de ejecución del proyecto y un operador.

El primer paso es plantear las siguientes preguntas para examinar las funciones de las instituciones existentes y poder determinar el marco institucional: ¿Hay alguna autoridad u organismo de ejecución del proyecto existente a cargo de los ferrocarriles urbanos? ¿Estas entidades gubernamentales existentes cuentan con la capacidad de gestión necesaria para elaborar y ejecutar un proyecto? ¿Quiénes son los prestadores de los servicios de transporte público de la ciudad? ¿Tienen alguna relación con estas entidades gubernamentales? En las ciudades donde ya hay un sistema ferroviario urbano, ¿es necesario llevar a cabo una reestructuración de las instituciones actuales para que puedan planificar, diseñar, construir y operar el proyecto adecuadamente?

Énfasis en la estructuración del proyecto

Al considerar el primer proyecto ferroviario urbano de una ciudad, se recomienda conformar una UEP lo antes posible para que gestione la preparación y la ejecución del proyecto. En algunos casos, la misma UEP puede convertirse en el organismo de ejecución del proyecto, e incluso en el operador del sistema (como sucedió en Quito, Ecuador), o puede, simplemente, desempeñar una función de asesoría durante el examen de los marcos institucionales y la constitución de la nueva entidad o entidades para la ejecución y la operación del sistema ferroviario urbano. Si la ciudad receptora no cuenta con capacidad técnica interna, esta UEP debe procurar la colaboración de expertos externos (véase el recuadro 12.2).

Mientras la autoridad planifica el proyecto ferroviario urbano, esta UEP debe decidir a la mayor brevedad posible qué entidad gestionará la ejecución de la nueva línea de ferrocarriles urbanos durante la construcción y, una vez construida, qué entidad operará el sistema. Las decisiones clave en esta etapa son si la ejecución y la operación del sistema se delegarán en una única entidad o en dos entidades independientes, y cómo se las estructurará.

La transición de la elaboración del proyecto a la operación del sistema

Entre los ejemplos internacionales de entidades de ferrocarriles urbanos que desempeñan funciones tanto de organismo de ejecución del proyecto como de operador se incluyen São Paulo (Brasil), Santiago (Chile) y Washington, DC (Estados Unidos). En estos casos, la experiencia ha demostrado que la transición

RECUADRO 12.2.

Búsqueda temprana de experiencia externa al establecer un nuevo organismo de ejecución para un proyecto ferroviario urbano: Bogotá, Colombia

Cuando Bogotá estaba considerando desarrollar su primera línea de ferrocarriles urbanos, el Consejo Municipal decidió crear una nueva institución —la Empresa Metro de Bogotá— en 2016 para que elaborara el proyecto. Reconociendo los límites de su propia experiencia con los ferrocarriles urbanos, la administración de la alcaldía recientemente electa solicitó al Banco Mundial apoyo para definir las funciones y la estructura organizativa de esta nueva institución. Los funcionarios gubernamentales de Bogotá compartieron el proyecto de ley a través del cual se crearía la nueva estructura de gestión de los ferrocarriles urbanos con versados expertos externos, quienes aportaron valiosas experiencias y enseñanzas aprendidas acerca de mandatos institucionales, estructuras organizativas, dotación de personal, participación del sector privado y subcontratación.

de la creación del sistema a la operación puede ser difícil dadas las diferentes funciones y capacidades necesarias para cada función (véase el recuadro 12.3). Por ende, es necesario desarrollar incentivos y estructuras de gestión a la par de las iniciativas de mejora programática, a fin de acompañar a los organismos de ejecución del proyecto durante la transición de organizaciones centradas en la construcción a operadores centrados en la prestación de un servicio que supone un contacto directo con los usuarios.

Incluso cuando la ejecución y la operación del proyecto están en manos de entidades independientes, la transición de la ejecución del proyecto a la

RECUADRO 12.3.

La transición de una organización centrada en la construcción a las operaciones: Washington, DC

La Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) se fundó en 1967 para implementar un sistema ferroviario urbano de 165 kilómetros en Washington, DC. La construcción del sistema se llevó a cabo en varias etapas que tuvieron lugar entre 1976 y 2001. Durante este extenso período de construcción, las estructuras financiera y de gestión de la WMATA se constituyeron con el énfasis puesto en la ejecución del proyecto, más que en la operación. Este énfasis en la construcción del capital es considerado uno de los motivos de la falta de priorización del mantenimiento y las renovaciones necesarias. La ausencia de un mantenimiento adecuado redundó en la pérdida del buen estado de conservación y en una interrupción considerable del servicio en un nivel mayor que el observado en otros sistemas con una antigüedad similar que adoptaron desde un primer momento una cultura centrada en la O&M a largo plazo (véase la imagen B12.3.1). Se han hecho varios intentos para orientar la cultura organizativa hacia la operación, incluida una reestructuración institucional en 2007-08. Así y todo, la transición no ha finalizado y posiblemente sea un factor determinante de los continuos desafíos operacionales que enfrenta la WMATA.

IMAGEN B12.3.1. Pasajeros varados mientras el tren se encuentra inmovilizado en la estación durante más de una hora debido a demoras por razones de mantenimiento, Washington, DC

Fuente: Karen Rustad Tölva, a través de Flickr Commons (CC-BY 2.0).

Fuente: Adaptado de Banco Mundial y RTSC, 2017.

operación suele ser difícil. Decidir quién será el futuro operador en las primeras instancias del proceso y brindar canales claros de comunicación entre este y el organismo de ejecución del proyecto puede ayudar a prepararse para esta transición.

Algunos organismos de ejecución de proyectos se centran únicamente en la elaboración del proyecto y pasan por alto la importancia de la operación. Es necesario que la autoridad se asegure de que habrá un operador capacitado para cuando el sistema comience a operar y de que este tendrá acceso a los conocimientos especializados necesarios durante los primeros años de operación (véase el recuadro 12.4).

Incorporación del conocimiento operativo en la autoridad y el organismo

Dentro de la autoridad directiva, la falta de comprensión de las complejidades inherentes a los sistemas ferroviarios urbanos y de cuáles son los factores determinantes del éxito de la operación puede traer aparejadas consecuencias imprevistas que atenten contra la capacidad de cualquier operador de satisfacer las expectativas (que suelen ser cada vez mayores) del servicio de ferrocarriles urbanos. La incorporación de conocimientos técnicos específicos del transporte ferroviario dentro de la autoridad —incluidos los reguladores— mejorará las probabilidades de que la autoridad y el operador logren una identificación y rendición de cuentas compartidas en relación con los objetivos normativos. En el caso de los sistemas ferroviarios urbanos donde la ejecución y la operación están en manos de instituciones diferentes, la incorporación de conocimientos operativos por parte de los equipos de planificación (capítulo 4), diseño (capítulo 5) y gestión de la construcción (capítulo 11) del organismo de ejecución del proyecto es esencial para garantizar la sostenibilidad de la operación y la longevidad del sistema.

La importancia del liderazgo técnico y político

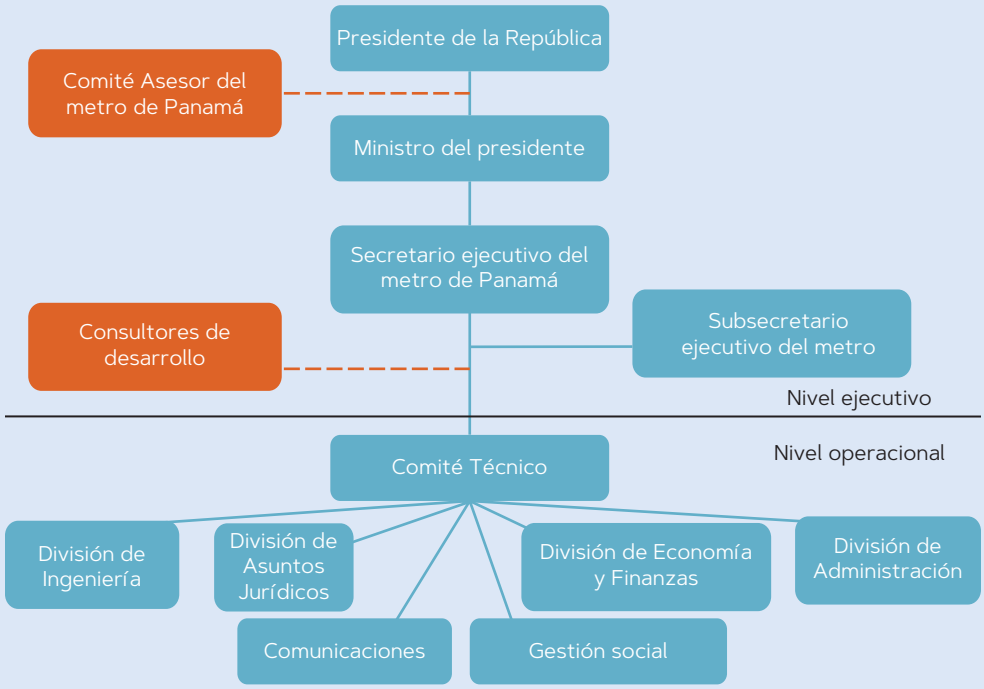
La experiencia internacional demuestra que un liderazgo técnico y político de alto nivel es crucial para el éxito de la ejecución y la operación de los megaproyectos ferroviarios urbanos. Este liderazgo generalmente adopta la forma de una o más personas con un alto grado de credibilidad e influencia dentro de la institución que se erigen como promotores del proyecto. Estos promotores ayudan a dar continuidad al impulso del proyecto y ofrecen apoyo a lo largo de los complejos procesos de ejecución del proyecto, que involucran un sin número de entidades públicas, partes interesadas y opiniones públicas. Un proyecto ferroviario urbano necesita tanto de un promotor político de las más altas esferas del Gobierno como de un promotor técnico.

RECUADRO 12.4.

Ejemplo de una entidad pública que funciona simultáneamente como el organismo de ejecución del proyecto y como el operador, con la ayuda de expertos externos: la Sociedad Anónima Metro de Panamá

La Sociedad Anónima Metro de Panamá es una entidad pública creada como organismo de ejecución del proyecto ferroviario urbano, que luego pasó a funcionar como operador (véase el gráfico B12.4.1). En reconocimiento de la necesidad de incorporar conocimientos relativos a la operación en la ejecución del proyecto antes de la finalización de las obras civiles, la Sociedad Anónima Metro de Panamá celebró un acuerdo de asistencia técnica con un operador experimentado con el fin de fortalecer su capacidad y recibir apoyo durante las primeras etapas de operación.

GRÁFICO B12.4.1. Estructura organizativa del diseño y la construcción de la línea 1 del metro a cargo de la secretaría de la presidencia de la República: Panamá, 2011



Fuente: Adaptado de Pulido y Portabales, 2014.

La autoridad debe contar, en todo momento, con un promotor político que actúe como la cara visible del proyecto o sistema ferroviario urbano, en especial durante controversias y debates. El promotor político puede ser un funcionario público de las altas esferas del Gobierno o un funcionario electo que se desempeñe, por ejemplo, como presidente del directorio de la autoridad o del organismo de ejecución del proyecto. Debe contar con el apoyo de un equipo sólido de comunicaciones y relaciones públicas.

El organismo de ejecución del proyecto y el operador deben trabajar bajo la dirección de promotores técnicos experimentados con dedicación exclusiva, a veces denominados directores de proyecto (durante la planificación o la ejecución) o gerentes generales (durante las operaciones). Este promotor es una persona con el mandato y la credibilidad necesarios para tomar decisiones administrativas y superar obstáculos técnicos en pos de la promoción de un proyecto o sistema. El promotor técnico debe gestionar varios contratos y relaciones, no solo con la autoridad sino con las entidades de cofinanciamiento y demás organismos gubernamentales con facultades de supervisión o normativas en relación con el proyecto o sistema, como la oficina de rendición de cuentas del Gobierno y organismos a cargo de brindar protección ambiental, cultural y social.

Fomento de la adaptabilidad institucional

Para las ciudades que no tienen un sistema ferroviario urbano previo, el organismo de ejecución del proyecto y el operador a menudo deben constituirse "de cero", ya sea como una nueva institución o como una nueva división funcional dentro de una institución existente. Si bien la introducción de estas nuevas instituciones brinda la oportunidad de implementar mejores prácticas aprendidas de otros organismos y operadores de ferrocarriles urbanos del mundo, también puede causar grandes perturbaciones en las instituciones existentes. Estas nuevas instituciones pueden asumir algunas responsabilidades que anteriormente no hayan correspondido a ninguna institución, pero también es probable que reciban facultades de supervisión sobre funciones previamente en manos de instituciones del Gobierno local y regional, así como de otros operadores de transporte público de la ciudad. En el caso de las ciudades donde se lleva a cabo una reorganización o una ampliación de los sistemas ferroviarios urbanos, tiene lugar la reestructuración, la reforma o incluso la eliminación de las instituciones existentes, a fin de permitir el traspaso de las responsabilidades pertinentes al nuevo operador.

Para las instituciones de ferrocarriles urbanos tanto nuevas como reorganizadas, la evolución puede ser complicada e insumir mucho tiempo. Puede llevar varios años lograr que las instituciones se estabilicen y puedan desempeñar una función significativa (Kumar y Agarwal, 2013). El desafío radica no solo en

constituir estas instituciones, sino también en garantizar que el operador, en particular, cuente con un entorno propicio, autonomía y capacidad técnica para erigirse como una organización respetada y eficaz. Es importante mantener la flexibilidad en el enfoque y la adaptabilidad en el diseño institucional a fin de permitir la realización de ajustes sin poner en riesgo los objetivos a largo plazo. Al momento de establecer una institución, lo más probable es que su desempeño no sea el ideal, por lo que es necesario tener paciencia para permitir una correspondencia adecuada entre las expectativas y las posibilidades.

Espectro de estructuras organizativas para operadores de transporte ferroviario urbano

Los sistemas ferroviarios urbanos del mundo adoptan diferentes estructuras organizativas para sus operaciones. Tras haber analizado las diferentes funciones y responsabilidades de la autoridad, el organismo de ejecución del proyecto y el operador, en esta sección se brindan detalles adicionales sobre las distintas estructuras organizativas que puede utilizar el operador del sistema. Estas estructuras organizativas existen a lo largo de un espectro que va desde operadores del sector público constituidos como un organismo o una unidad dentro del Gobierno hasta una concesión absoluta de las operaciones a una empresa privada, con variaciones intermedias como compañías públicas y privatizaciones parciales (véase el gráfico 12.1).

En esta sección se define cada una de las estructuras organizativas de este espectro, se analizan sus ventajas y desventajas relativas y se brindan ejemplos de operadores de transporte ferroviario urbano existentes para cada estructura. Estos ejemplos ilustran cómo, en cualquier punto del espectro, puede haber importantes variaciones en la autoridad y las funciones que comparten las diferentes jurisdicciones y organismos del sector público y cualquier socio privado. En reconocimiento de que las variaciones efectivamente existen en la realidad, en este análisis se hace hincapié en algunas de las principales ventajas y desventajas de estas diferentes estructuras organizativas en lo que respecta a la rendición de cuentas ante la necesidad pública; la distribución equitativa del servicio; la

GRÁFICO 12.1. Espectro de estructuras organizativas para operadores de transporte ferroviario urbano

coordinación operacional con una estrategia de transporte urbano intermodal a largo plazo; la flexibilidad y la eficiencia de las operaciones, y la tasa de innovación.

No existe una única estructura institucional que resulte ideal en todos los casos. Por el contrario, se deben analizar prudentemente el entorno y las capacidades institucionales existentes y examinar las normativas y la legislación existentes para determinar la estructura organizativa más conveniente para el operador de transporte ferroviario urbano de una ciudad.

Operador público

En los modelos de propiedad pública, la planificación, el financiamiento, la ejecución y la O&M del sistema ferroviario urbano corresponden a la autoridad del Gobierno, que debe rendir cuentas ante el público. Históricamente, la mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos se han desarrollado según un modelo de propiedad pública en el cual las operaciones son llevadas a cabo por un organismo perteneciente al Gobierno nacional, estatal o municipal. Todavía existen ejemplos de operadores públicos en distintos niveles del Gobierno entre los sistemas ferroviarios urbanos.

En la mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos (generalmente en los países más pequeños), el operador público puede formar parte del Gobierno nacional. Este modelo de operaciones públicas a nivel nacional tiene una ventaja principal: la claridad en la rendición de cuentas. Un único gerente general (o director ejecutivo) es responsable de todos los aspectos del sistema y rinde cuentas únicamente a la máxima autoridad normativa y de formulación de políticas (Wilson, 1991). Por ejemplo, los ferrocarriles urbanos de la Ciudad de Panamá fueron diseñados y construidos, y actualmente son operados, por una unidad del Gobierno nacional en el nivel de una secretaría dependiente de la presidencia (Pulido y Portabales, 2014) (véase el gráfico B12.4.1). Para un área metropolitana grande en un país federalizado, un operador público centralizado de este tipo puede depender del Gobierno estatal o de otro Gobierno subnacional. Un ejemplo de esta estructura es el operador de transporte ferroviario urbano de São Paulo, Brasil —Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô São Paulo)—, que es un organismo del Gobierno dependiente de la Secretaría de Transporte Metropolitano del estado.

A diferencia de sus contrapartes más centralizadas, los operadores públicos que dependen de Gobiernos municipales pueden tener que rendir cuentas directamente ante las necesidades de los usuarios locales (Kumar y Agarwal, 2013). Sin embargo, la jurisdicción de los operadores públicos a nivel municipal puede estar restringida a fronteras municipales que no abarcan la naturaleza regional o metropolitana de muchos viajes. Algunos ejemplos de operadores de transporte ferroviario urbano a nivel municipal incluyen el metro de Moscú

(operado directamente por el Gobierno municipal de Moscú) y la Oficina de Transporte del Gobierno Metropolitano de Tokio (conocida como TOEI), uno de los dos operadores del metro de Tokio, Japón.

Con la incorporación de las autoridades metropolitanas de transporte en la integración y el desarrollo del transporte público a nivel regional (entre las jurisdicciones tradicionales del municipio y el estado), se han constituido otros operadores públicos dependientes de estas autoridades (véase el recuadro 12.5). Los operadores de transporte ferroviario urbano dependientes de la autoridad metropolitana de transporte generalmente ofrecen como ventaja la capacidad de coordinación entre las fronteras de varios municipios y entre diferentes modalidades de transporte público, lo que les permite satisfacer las necesidades de los usuarios que viajan a través de una región metropolitana más extensa. Por ende, si en la ciudad receptora existe una autoridad metropolitana de transporte, lo más natural es elegirla para la operación pública del sistema ferroviario urbano.

Independientemente de si se establece como parte de un Gobierno nacional, estatal o municipal o como una dependencia de la autoridad metropolitana de transporte, todos los operadores públicos comparten posibles ventajas y desventajas (véase el cuadro 12.2). Muchas de estas ventajas están relacionadas con el hecho de que los operadores que se establecen como organismos públicos claramente operan el sistema como un servicio público y, por lo tanto, mantienen los objetivos públicos más amplios de inclusión social y desarrollo económico como elementos centrales de todas las

RECUADRO 12.5.

Ejemplo de operaciones de los ferrocarriles urbanos públicos dependientes de una autoridad metropolitana de transporte: Strathclyde Partnership for Transport, Glasgow, Escocia

Strathclyde Partnership for Transport (SPT), constituida en 2006, es la mayor de las siete alianzas de transporte regionales (una forma de autoridad metropolitana de transporte) de Escocia. La jurisdicción de SPT comprende 12 concejos en la zona oeste de Escocia: East Ayrshire, East Dunbartonshire, East Renfrewshire, Glasgow City, Inverclyde, North Ayrshire, North Lanarkshire, Renfrewshire, South Ayrshire, South Lanarkshire, West Dunbartonshire, y las zonas de Helensburgh y Lomond de Argyll y Bute. SPT es responsable de planificar y ejecutar soluciones de transporte para todas las modalidades de transporte de la región. SPT elabora una estrategia de transporte regional y planifica

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 12.5.

Ejemplo de operaciones de los ferrocarriles urbanos públicos dependientes de una autoridad metropolitana de transporte: Strathclyde Partnership for Transport, Glasgow, Escocia *(Continuación)*

las inversiones en infraestructura para transporte público, así como para calles destinadas a vehículos particulares, ciclistas y peatones (SPT, 2017). SPT también tiene a su cargo la operación y el mantenimiento del Metro de Glasgow, presta parte del servicio subsidiado de autobuses, y supervisa el cobro integrado de tarifas y la distribución de ingresos entre otros proveedores de transporte de autobuses (véase la imagen B12.5.1).

La alianza regional de SPT está conformada por 20 miembros electos que representan a los 12 concejos constituyentes. Se designan miembros adicionales (por lo general, de siete a nueve) en función de sus conocimientos técnicos en áreas como planificación urbana, operación de transporte ferroviario, administración, financiamiento y aspectos jurídicos. Estos miembros posteriormente contratan líderes tecnocráticos de nivel superior para que supervisen la administración de las funciones de SPT.

Otros ejemplos notables de operación de ferrocarriles urbanos constituidas al amparo de una autoridad metropolitana de transporte incluyen el Metro de Londres (como subsidiaria de Transport for London), Metro de Madrid y la Autoridad de Transporte de la Ciudad de Nueva York (dependiente de la Autoridad Metropolitana de Transporte).

IMAGEN B12.5.1. Conexiones intermodales en la estación de West Street, metro de Glasgow, 2011

Fuente: Greg Neate (CC-BY 2.0).

CUADRO 12.2. Potenciales ventajas y desventajas de los operadores públicos de transporte ferroviario urbano

POTENCIALES VENTAJAS	POTENCIALES DESVENTAJAS
• Como todas las funciones son desempeñadas por el sector público, hay un menor riesgo de conflicto entre la política y la operación. Hay mayores probabilidades de que se preste el servicio en las rutas que tienen un valor social, incluso en aquellas que resultan poco rentables. • Puede simplificarse la coordinación entre los diferentes departamentos o servicios porque todas las partes interesadas pertenecen al sector público. Esto es especialmente notorio a la hora de coordinar el servicio de transporte ferroviario con otras formas de transporte público (o privado) en la ciudad. • Puede facilitar una imagen cohesiva del sistema ferroviario, que puede traducirse en una mayor concientización y en un aumento del número de pasajeros.	• En los sistemas nuevos desarrollados en ciudades con una experiencia previa escasa o nula en ferrocarriles urbanos, el operador público puede experimentar dificultades para movilizar los conocimientos especializados y los recursos necesarios sin una planificación temprana y un presupuesto suficiente. • Debido a la ausencia de competencia en el transporte público y a la interacción insuficiente entre los responsables de la toma de decisiones políticas y los usuarios finales, el operador público puede prestar poca atención a las necesidades de los pasajeros; en consecuencia, los usuarios pueden percibir al operador como una figura lejana y poco receptiva. • Puede haber pocos incentivos, o ninguno, para que la gerencia se preocupe por aumentar la eficiencia o la productividad debido a la ausencia de un objetivo comercial, siempre que haya fondos adecuados disponibles (Wilson, 1991). • El operador público puede tener pocos motivos para apostar por la innovación y resistirse activamente a las propuestas de cambios. • El bajo nivel de autonomía de gestión respecto de los intereses políticos y la inflexibilidad y el carácter prolongado de los procesos de toma de decisiones pueden contribuir a ineficiencias operativas en los sistemas ferroviarios urbanos de propiedad pública (Jain, Cullinane y Cullinane, 2008; Wilson, 1991). • Las regulaciones laborales y de adquisiciones del sector público imponen restricciones.

decisiones relativas a las operaciones. Por su parte, muchas de sus desventajas están relacionadas con la posibilidad de una definición poco clara de las funciones y responsabilidades en una burocracia gubernamental compleja, la falta de incentivos para responder a las necesidades del mercado debido a las "tendencias monopolísticas y al anquilosamiento burocrático" (van de Velde, 1999, 147), y la politización de las operaciones diarias.

Incluso sin cambiar el modelo básico de propiedad pública, existen varias iniciativas que pueden mejorar la función del operador público, particularmente en lo que respecta a la eficiencia. Por ejemplo, por medio de la intervención legislativa podría brindarse mayor autonomía a la gerencia de los ferrocarriles urbanos, o podría estimularse un mayor nivel de innovación y respuesta a las necesidades de los usuarios por medio de cambios en el personal de la gerencia general (Wilson, 1991). Sin embargo, en algunos casos, las reformas internas de la organización posiblemente no sean suficientes, y puede ser necesaria una

reorganización. La incorporación de compañías públicas podría ayudar al operador al posibilitar el establecimiento de un objetivo comercial más sólido y ofrecer cierta separación entre el operador y la interferencia política.

Compañías públicas

Las compañías públicas son "organismos creados por ley en los cuales el Gobierno delega su autoridad de operar y regir determinados servicios públicos, pero estas empresas adhieren a principios comerciales prudentes" (Jain, Cullinane y Cullinane, 2008, 1240). Las compañías públicas son empresas en las cuales el Gobierno a nivel nacional, estatal o municipal mantiene la propiedad absoluta del capital accionario de la empresa (véase el cuadro 12.3 para conocer algunos ejemplos). En la mayoría de los casos, estas empresas se establecen al amparo de una legislación especial, que ofrece una combinación entre la influencia propia del respaldo jurídico y político del sector público y la flexibilidad de una toma de decisiones más rápida característica de una entidad comercial. Por lo general, las compañías públicas responden a un directorio conformado por funcionarios electos o delegados políticos. Este directorio se establece con el fin de proteger los intereses de los accionistas del Gobierno y de brindar supervisión y control contra la mentalidad comercial de una gerencia ejecutiva facultada para dirigir la empresa.

CUADRO 12.3. Ejemplos de operadores de transporte ferroviario urbano constituidos como compañías públicas y tenedores de su capital accionario

SISTEMA DE FERROVIARIO URBANO	OPERADOR	TENEDORES DEL CAPITAL PÚBLICO
Beijing, China	Beijing Mass Transit Railway Operation Corporation Limited	Propiedad absoluta del Gobierno municipal de Beijing
Delhi, India	Delhi Metro Rail Corporation	Propiedad conjunta del capital entre el Ministerio de Desarrollo Urbano y la Compañía Municipal de Delhi
Guangzhou	Guangzhou Metro Corporation	Propiedad absoluta del Gobierno municipal de Guangzhou
Santiago, Chile	La Empresa de Transporte de Pasajeros Metro S.A.	Propiedad absoluta del Gobierno nacional: • 62,57 % perteneciente a la Corporación de Fomento de la Producción, subsidiaria dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo • 37,25 % perteneciente al Tesoro de Chile
Seúl, República de Corea	Seoul Metro	Propiedad absoluta del Gobierno metropolitano de Seúl
Tokio, Japón	Tokyo Metro Company Limited	Propiedad conjunta del capital entre el Gobierno metropolitano de Tokio y el Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo de Japón

La existencia de cláusulas legales puede proteger a las autoridades transformadas al modelo comercial contra parte de la interferencia política tan frecuente en las instituciones de propiedad pública (Kumar y Agarwal, 2013). Por ejemplo, es posible que las compañías públicas no se vean tan restringidas por los procedimientos gubernamentales ni por los límites de las escalas salariales del Gobierno en la contratación de personal profesional. Esto puede permitirles a los responsables de la toma de decisiones organizativas actuar con mayor rapidez a la hora de innovar y responder a las cambiantes necesidades de la sociedad. Se ha demostrado que los operadores de transporte ferroviario urbano transformados al modelo comercial son más eficientes que los operadores públicos (Jain, Cullinane y Cullinane, 2008).

Privatización parcial

La privatización parcial es un caso único donde se privatiza solamente una parte de una empresa de transporte ferroviario perteneciente al estado o transformada al modelo comercial. En esta estructura institucional, un operador de transporte ferroviario de propiedad pública vende parte de su participación en el mercado de valores a través de ofertas públicas iniciales, y el Gobierno generalmente mantiene el control respecto de la mayoría de las acciones (Jain, Cullinane y Cullinane, 2008). De este modo, el operador es responsable ante los accionistas del sector privado y tiene el incentivo de funcionar con un fin de lucro, pero sigue siendo responsable ante la visión estratégica del sector público. La privatización parcial difiere de la transformación al modelo comercial en que un operador parcialmente privatizado no suele estar tan limitado por las leyes laborales y de adquisiciones públicas. Además, el operador parcialmente privatizado puede tener una flexibilidad adicional para procurar un financiamiento innovador y del sector privado y para aprovechar las fuentes secundarias de ingresos. Existen muy pocos casos documentados de privatización parcial de un sistema de ferrocarriles urbanos. El más frecuentemente citado es el de Mass Transit Railway Corporation (MTRC) Limited, en Hong Kong (véase el recuadro 12.6).

Operador privado

En las últimas dos décadas, ha habido un interés cada vez mayor en la participación del sector privado en el desarrollo y la operación de sistemas ferroviarios urbanos. Según los argumentos que avalan la participación del sector privado, este no solo brinda vías alternativas para el financiamiento y el desarrollo de proyectos de infraestructura de transporte, sino que también puede promover, a un nivel difícil de igualar en el sector público, la eficiencia en la construcción, la gestión, la operación y el uso de tecnología (Jain, Cullinane y Cullinane, 2008). En los capítulos 8 y 9 de este manual, se analiza cómo considerar y estructurar la

RECUADRO 12.6.

Ejemplo de un operador de transporte ferroviario urbano parcialmente privatizado: MTRC Limited en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China

En 1975, el Gobierno de la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China, estableció Mass Transit Railway Corporation (MTRC) como una compañía creada por ley y de propiedad del Gobierno para que construyera y operara el sistema de transporte público de la ciudad. El superávit operativo de MTRC, uno de los sistemas de transporte público más rentables del mundo, contribuyó al lanzamiento de una oferta pública inicial exitosa. En 2000, MTRC fue privatizada parcialmente y sucedida por MTRC Limited, que cotizaba en la bolsa de valores de Hong Kong y de la cual el Gobierno seguía siendo el accionista mayoritario. Además de dedicarse a la operación de transporte público ferroviario y de autobuses, MTRC Limited es una importante empresa local de arrendamiento y desarrollo inmobiliario. También invierte en sistemas ferroviarios de distintas partes del mundo y tiene contratos para operar sistemas de transporte en Beijing, Hangzhou, Londres, Melbourne, Shenzhen, Estocolmo y Sídney.

participación privada en las adquisiciones y la ejecución de los proyectos ferroviarios urbanos. Esta sección se centra en las posibles ventajas y desventajas de involucrar a una empresa privada como operador (por medio de la concesión de la prestación del servicio y, en ocasiones, del mantenimiento de la infraestructura).

Pese a la tendencia mundial a aumentar la participación del sector privado en la elaboración de proyectos ferroviarios urbanos, la experiencia previa con la participación de este sector en la O&M de los sistemas de ferrocarriles urbanos no es uniforme. Si bien el equilibrio entre las ventajas y las desventajas de estos mecanismos institucionales depende en gran medida de los detalles del contrato entre el operador privado y el sector público, es posible hacer algunas generalizaciones (véase el cuadro 12.4). Por ejemplo, es posible que no se haya asignado ni a la autoridad ni al operador privado una responsabilidad clara respecto de una función tal como la planificación de la operación a corto y mediano plazo y que la función quede desatendida; por el contrario, es posible que se produzca una duplicación ineficiente de los esfuerzos que redunde en un conflicto si ambos organismos consideran que son responsables de una función en particular (Wilson, 1991). La rendición de cuentas dentro de la estructura institucional se torna menos clara, y puede ser más difícil coordinar eficazmente las líneas de ferrocarriles urbanos con el sistema de transporte público en su conjunto. Por consiguiente, dentro del contrato público-privado, las funciones deben definirse minuciosamente y los incentivos deben estructurarse de manera tal que el operador privado

CUADRO 12.4. Potenciales ventajas y desventajas de un operador privado de transporte ferroviario urbano

POTENCIALES VENTAJAS	POTENCIALES DESVENTAJAS
• La relación entre la autoridad (el Gobierno) y el operador se rige por instrumentos contractuales y jurídicos claros, incluido un acuerdo de servicios. • El operador privado puede responder mejor a las fuerzas del mercado y exhibir una mayor eficiencia impulsada por motivaciones comerciales (Jain, Cullinane y Cullinane, 2008). • El operador privado puede estar en mejores condiciones de aprovechar las oportunidades de ingresos no tarifarios, incluidos el desarrollo comercial, el arrendamiento de estaciones y la publicidad. • El operador privado puede tener menores costos de operación y mayor flexibilidad (al no estar limitado por las regulaciones laborales y de adquisiciones del sector público).	• Si la autoridad del sector público no cumple con su función de supervisión y no produce planes y políticas que contribuyan a orientar al operador hacia el "bien común", el operador privado puede brindar un sistema que no sea accesible para todos (por ejemplo, puede optar por no prestar servicios en rutas que no son rentables o por cobrar tarifas superiores a las que algunas personas pueden afrontar). • En el caso de varios operadores privados con contratos independientes, puede ser difícil integrar y coordinar sus operaciones con las del sistema de transporte público más amplio. • En los sistemas existentes, la incorporación de un operador privado para la gestión de una nueva línea puede ser ineficiente.

tenga el margen necesario para innovar con las eficiencias operativas y para responder a las fuerzas del mercado, sin dejar de ser responsable ante la visión para el transporte a largo plazo para la ciudad y la región. Tener un operador del sector privado no significa que esta entidad pueda determinar los niveles de servicio de manera aislada, incluso si así se define en un contrato. Siempre hay una autoridad pública presente para supervisar el sistema ferroviario urbano como parte de un sistema de transporte multimodal jerárquicamente integrado.

Existe la posibilidad de que surjan problemas en la creación de contratos complejos con operadores privados y en la provisión de una supervisión y un seguimiento eficaces de estos contratos, especialmente en países que todavía están fortaleciendo su capacidad técnica y de gestión. La participación privada nunca debe considerarse un reemplazo de la capacidad interna; el sector público debe entender los detalles de la ejecución y la operación del proyecto ferroviario urbano a fin de estructurar debidamente un contrato de concesión que garantice la optimización de los recursos públicos. Una autoridad, el organismo de ejecución del proyecto o un operador no pueden subcontratar eficientemente ningún aspecto de obras y servicios relacionados con los ferrocarriles urbanos que no sea capaz de comprender (Banco Mundial y RTSC, 2017). Por ende, las autoridades que emprendan mecanismos de APP deben desarrollar y fortalecer la competencia interna necesaria para planificar, ejecutar y gestionar mecanismos de subcontratación (véase el recuadro 12.7).

RECUADRO 12.7.

Ejemplo de un operador de transporte ferroviario urbano privado: ViaQuatro en São Paulo, Brasil

ViaQuatro es el concesionario responsable de la O&M de la línea 4 del metro de São Paulo. El proyecto abarca 11 estaciones y una extensión total de 14,3 kilómetros de vías subterráneas. El contrato de operación con ViaQuatro fue el primer acuerdo de APP del país.

El acuerdo de APP entre el estado de São Paulo y el concesionario entró en vigor en noviembre de 2006, y le permitía a ViaQuatro asumir la O&M de la línea 4 del metro por un período de 30 años. Para complementar los significativos fondos públicos aportados por el estado de São Paulo, ViaQuatro ha invertido USD 450 millones en sistemas, equipos y trenes. A lo largo de los 30 años de operación, invertirá más de USD 2000 millones en la línea del metro. ViaQuatro comenzó a operar en octubre de 2011. En la actualidad, la línea 4 brinda una movilidad segura y eficiente a aproximadamente 700 000 pasajeros por día, y más del 90 % de los usuarios están satisfechos con el servicio.

Un factor determinante clave para el éxito de los operadores del sector privado es cómo se los incentiva a través de la estructura del mecanismo de APP y de la asignación contractual de determinados riesgos (véanse los capítulos 7 y 9). En el caso de ViaQuatro, el contrato de APP incluye:

- *Distribución del riesgo inherente a la demanda.* A fin de que el riesgo inherente a la demanda fuera compartido entre el estado y el concesionario, el socio público acordó (contractualmente) reorganizar las rutas de autobuses de modo tal de eliminar la competencia planteada por las demás modalidades. Asimismo, el socio público accedió a garantizar de un 10 % a un 40 % de la demanda proyectada, con lo cual se aseguraba que el riesgo de demanda se distribuyera entre ambos en función del volumen de pasajeros observado.
- *Participación en los ingresos e integración tarifaria.* El concesionario recibe el 100 % de los ingresos tarifarios correspondientes a los pasajeros que utilizan la línea 4 de manera exclusiva, mientras que recibe solo el 50 % de los ingresos tarifarios de quienes usan la línea 4 junto con cualquier otra línea del sistema. Esto le brinda al concesionario un incentivo económico para prestar un servicio de alta calidad y para implementar mejoras en el servicio a fin de aumentar la demanda de la línea 4.
- *Indicadores clave de desempeño.* En el contrato de operación, se establecen niveles de servicio que el concesionario está obligado a cumplir en cuanto a los siguientes aspectos: 1) frecuencia de los trenes, 2) tiempos de viaje promedio durante horas pico, 3) cumplimiento de la oferta de trenes originalmente programada, 4) número de accidentes, 5) accidentes que involucren a usuarios y número de infracciones cometidas por los usuarios, 6) número de quejas o reclamos de los usuarios, 7) tiempo de permanencia de los usuarios en la estación (sin incluir el tiempo de viaje), y 8) niveles de satisfacción de los usuarios.

A modo de alternativa a los operadores privados, existen otros mecanismos de menor escala para involucrar al sector privado en las operaciones de ferrocarriles urbanos que se enmarcan en una estructura institucional pública o de otro tipo. Muchos operadores públicos diseñan contratos donde se subcontratan al sector privado las actividades que pueden transformarse en productos básicos y ser provistas fácilmente por varios proveedores o prestadores de servicios (como limpieza, centros de atención telefónica y funciones operativas donde la flexibilidad relativa a la fuerza laboral del sector privado ofrece ventajas significativas en términos de costos). En estos tipos de contratos, en lugar de ser acuerdos de concesión absolutos, se aprovechan aquellos aspectos en los cuales el sector privado puede potenciar sus mayores eficiencias a través de la competencia y de prácticas laborales y de adquisiciones más agilizadas.

Facultad del operador

Ya sea público, privado o de alguna categoría intermedia, la función del operador es la clave del éxito de un sistema ferroviario urbano. La experiencia con operadores de transporte ferroviario urbano existentes indica que el éxito no está tan supeditado a la afiliación pública o privada del operador como al entorno propicio en que estén inmersos el operador y la gestión del desempeño (Banco Mundial y RTSC, 2017). Independientemente de la forma institucional que adopte el operador, el proyecto no podrá prosperar sin un entorno propicio que acompañe, y es la autoridad la responsable de favorecerlo. Las estructuras jurídica, normativa y financiera establecidas por la autoridad pueden obstaculizar o bien apoyar el control del operador sobre su entorno operativo. En particular, la autoridad y los organismos de ejecución de proyectos pueden propiciar el éxito de un operador nuevo o existente de tres maneras clave:

1. estableciendo funciones, responsabilidades y objetivos de desempeño claros y de carácter vinculante para el operador;
2. brindando sostenibilidad financiera a través de mecanismos estables de subsidios plurianuales, una política tarifaria adecuada y la capacidad del operador de generar ingresos no tarifarios y destinarlos a los gastos adecuados;
3. creando un marco de gestión eficaz que brinde la autonomía necesaria para emprender prácticas de gestión orientadas a los negocios, a cargo de líderes tecnocráticos que cuenten con el apoyo de personal técnico adecuado.

Al brindarle al operador un mayor nivel de recursos, flexibilidad, autonomía o independencia financiera, la autoridad puede solicitar un mayor grado de

rendición de cuentas respecto del logro de los objetivos de desempeño. Por ende, facultar al operador para que gestione la operación a corto plazo, así como la planificación del servicio y la renovación de activos a mediano plazo, es una mejor opción para la autoridad, para la longevidad del sistema ferroviario urbano y para la experiencia de sus pasajeros.

Responsabilidades y objetivos de desempeño claros

Sea cual fuere la estructura organizativa del operador, sus funciones y sus responsabilidades —y su coordinación con otras instituciones (en particular con la autoridad)— deben estipularse por medio de instrumentos jurídicos (si no contractuales). Al constituirse el operador, deben establecerse objetivos claros para la prestación del servicio y debe haber una comprensión de los principales riesgos que tendrá la obligación de gestionar. Los objetivos relativos a la prestación del servicio, los indicadores de desempeño, las tarifas, los costos, las remuneraciones y demás detalles deben especificarse de alguna forma en el acuerdo de servicios o contrato de prestación del servicio. Asimismo, el operador debe tener la facultad legal para desempeñar las funciones que se le asignen.

Históricamente, los operadores públicos han adolecido de esta falta de claridad en las responsabilidades y los objetivos porque existen como subsidiarios dentro de los departamentos de transporte a nivel nacional, estatal o local. Sin embargo, entre los operadores públicos, las funciones y las relaciones pueden especificarse a través de diferentes mecanismos, incluidos el consenso político compartido y la visión o actas constitutivas u otros documentos cuasicontractuales más formales dentro de un marco regulatorio (véase el recuadro 12.8).

Si bien los operadores públicos que dependen directamente del Gobierno nacional, estatal o local muchas veces adolecen de una estipulación poco clara de sus funciones y responsabilidades, tradicionalmente tienen mayores probabilidades de contar con el apoyo de funcionarios de alto nivel dentro del Gobierno y de cumplir con las políticas y regulaciones aprobadas por la autoridad. Como estructura organizativa alternativa, los operadores públicos transformados al modelo comercial creados al amparo de una legislación especial tienden a ofrecer la influencia del respaldo jurídico y político propio de la pertenencia al sector público, pero también pueden estar protegidos por cláusulas legales contra parte de la interferencia política y la confusión de funciones que suelen afectar a los operadores de propiedad pública. Estos factores pueden brindarle a la compañía pública la flexibilidad de una toma de decisiones más agilizada, característica de una entidad comercial.

Con los operadores privados, las relaciones y los objetivos de desempeño se definen de manera clara en un contrato, que termina siendo un instrumento mucho más contundente que los instrumentos cuasicontractuales que se

RECUADRO 12.8.

Mecanismos para establecer responsabilidades y objetivos de desempeño claros entre los operadores

Consenso y visión política compartida: Kuala Lumpur, Malasia

En Malasia, la política del Gobierno nacional denominada Visión 2020 propone un objetivo de un 40 % en cuanto a la proporción que representan las modalidades de transporte público en Kuala Lumpur para 2030 (respecto a un valor de referencia de aproximadamente el 21 % en 2011). El operador de la ciudad también ha adoptado este objetivo. El objetivo compartido alienta tanto a la autoridad como al operador a tomar decisiones con el fin de alcanzarlo y ha generado un consenso político común (Banco Mundial y RTSC, 2017). Si bien este tipo de acuerdo es preferible a una falta de convergencia de los incentivos, puede ser vulnerable a las presiones de la economía política y de los cambios en la administración política o en la gerencia del operador, y carece de un mecanismo de aplicación formal en caso de que se produzca una desalineación de los incentivos.

Pacto (o acta constitutiva): Washington, DC, Estados Unidos

La WMATA es un organismo gubernamental multijurisdiccional que opera servicios de transporte público en el área metropolitana más amplia de Washington, DC. La WMATA fue creada en virtud de un pacto interestatal, un tipo de legislación habilitante en la cual se precisaban el propósito y la función de dicho organismo, la estructura organizativa y la jurisdicción, y las atribuciones y responsabilidades con respecto a la planificación del transporte público, su financiamiento, su presupuesto, el uso de los ingresos y las facultades relativas al endeudamiento, y la política laboral, entre otros aspectos. Este pacto fue ratificado por los órganos legislativos de sus cuatro miembros: el estado de Virginia, el estado de Maryland, el Gobierno federal de los Estados Unidos y el Distrito de Columbia.

utilizan para regular las relaciones entre el Gobierno y la mayoría de los operadores públicos. La estructura de este contrato a menudo resulta un factor determinante clave del equilibrio entre las ventajas y las desventajas de tener un operador privado. Es por ello que es necesario recurrir a expertos con conocimientos jurídicos especializados para definir las funciones de los sectores público y privado y para implementar los incentivos adecuados para garantizar la calidad y la eficiencia del servicio (véase el capítulo 9). Las autoridades de los ferrocarriles urbanos y sus operadores pueden aprender tanto de los éxitos como de los obstáculos en la estructuración de estos contratos. Incluso para los operadores públicos, muchos de los mismos incentivos y objetivos de desempeño del servicio definidos en los contratos de APP podrían usarse para crear un proceso de rendición de cuentas transparente entre las funciones de la autoridad y las del operador a través de acuerdos cuasicontractuales.

Las leyes adecuadas que definan de manera clara las funciones y los objetivos son necesarias, pero no suficientes para garantizar la eficacia de las operaciones, especialmente en el caso de los operadores de transporte ferroviario urbano recientemente establecidos (Kumar y Agarwal, 2013). Para ser eficaces, los operadores de transporte ferroviario urbano también precisan recursos estables y adecuados, lo que incluye asegurar fondos y un liderazgo técnico autónomo respaldado por profesionales técnicos competentes.

Sostenibilidad financiera

Ningún sistema ferroviario urbano ha demostrado una independencia financiera absoluta; en conjunto, los costos de capital inicial, de operación y de renovación de activos, incluso en las ciudades de mayor densidad, requieren de alguna forma de subsidio. Cuando se excluyen los costos de capital inicial, algunos sistemas ferroviarios urbanos pueden recuperar de manera sostenible fondos suficientes para cubrir los costos de operación (es decir, la suma de los costos de la operación, el mantenimiento y la administración), así como también parte de los costos de renovación y mejora a largo plazo (Banco Mundial y RTSC, 2017). Sin embargo, la mitad de los sistemas de ferrocarriles urbanos no pueden afrontar sus propios costos de operación anuales y, por consiguiente, necesitan alguna forma de subsidio para los costos de la operación y fondos adicionales para costear la renovación y la mejora permanente de los activos (Banco Mundial y RTSC, 2017).

Por lo tanto, el éxito de un sistema ferroviario urbano a menudo es determinado por la medida en la cual su estrategia de fondeo a largo plazo le permita al operador realizar inversiones en el momento oportuno de modo que se satisfagan las expectativas relativas a la calidad del servicio. La experiencia internacional ha puesto en duda la eficacia del uso de un financiamiento de la deuda en el cual la garantía de reembolso se derive exclusivamente de los flujos de efectivo inmediatos de la operación del sistema ferroviario urbano (Banco Mundial y RTSC, 2017). Los flujos de efectivo provenientes de los ferrocarriles urbanos están sujetos a la incertidumbre inherente a los cambios en la economía política y la complejidad de los activos de los ferrocarriles urbanos. Hay solamente tres formas verosímiles de financiar los costos ordinarios de un sistema ferroviario urbano (tanto de operación como de capital):

- las tarifas que pagan los pasajeros;
- los ingresos no tarifarios procedentes de actividades comerciales, publicidad y obras de urbanización;
- pagos de subsidios por parte del Gobierno en nombre de los contribuyentes (véase el capítulo 10).

Para poder desempeñar sus funciones satisfactoriamente, un operador debe recibir fondos del sector público y estar facultado para recaudar los ingresos generados por la operación y las funciones comerciales (véase el capítulo 13).

Un sistema ferroviario urbano es un proyecto de inversión de capital continuo; es necesaria una reinversión constante para renovar y mejorar la infraestructura a fin de garantizar el servicio y la calidad exigidos por el público. Estos programas de inversión de capital se extienden durante muchos años; un único ciclo de fondeo anual rara vez es suficiente para financiar los programas de mayor envergadura, particularmente cuando este ciclo incluye tanto el subsidio a la operación como el fondeo de capital. Cualquier operador de transporte ferroviario urbano necesita garantías estables y plurianuales de subsidios para la operación y la mejora del capital. Esta estabilidad de los fondos brinda "economías de planificación" (Banco Mundial y RTSC, 2017). Los mecanismos de fondeo plurianual posibilitan una ejecución más fluida y más predecible de los programas de mejora del capital y la operación al brindar cierto grado de certidumbre respecto de las fuentes de efectivo y reducir la volatilidad en las cadenas de suministro en el caso de los proyectos a más largo plazo. Un régimen de fondeo anualizado con presupuestos independientes para operación y renovaciones le impide al operador tener una visión para todo el ciclo de vida o a largo plazo de la gestión de activos y la prestación del servicio, como se ejemplifica en Washington, DC (véase el recuadro 12.9).

RECUADRO 12.9.

Las consecuencias negativas del fondeo anual: Washington, DC

La experiencia de la WMATA pone de manifiesto el impacto de tener un operador dependiente de un fondeo anual. Pese a ostentar una de las tasas de compensación de tarifas por venta de boletos más altas de los Estados Unidos, la WMATA no cuenta con ninguna fuente de fondeo plurianual estable. El subsidio operativo de la WMATA (equivalente a aproximadamente el 27 % de los costos de operación) y el fondeo para renovación de capital dependen de la negociación anual entre cuatro jurisdicciones proveedoras de fondos: el Distrito de Columbia, Maryland, Virginia y el Gobierno federal estadounidense. Al tener que solicitarse fondos todos los años, el operador queda expuesto a mayores presiones financieras, se ponen en riesgo los niveles de servicio actuales y se dificulta la planificación de mejoras importantes en la infraestructura y los servicios que puedan generar valor. Como resultado, no se han implementado las medidas críticas a largo plazo necesarias para asegurar la operación y el crecimiento de la WMATA a través de la inversión en la renovación de activos y el mantenimiento preventivo. Esto ha dado lugar a múltiples impactos en la seguridad y la operación que han afectado a los usuarios. La WMATA está permanentemente "poniéndose al día" con las necesidades de inversiones atrasadas, en lugar de generar mayor valor para su red.

Fuente: Adaptado de Banco Mundial y RTSC, 2017.

Un marco de gestión eficaz con autonomía

Un marco de gestión brinda el conjunto de procesos y responsabilidades inherentes a la toma de decisiones que resultan cruciales para desarrollar y operar el sistema ferroviario urbano de manera eficaz y eficiente. Es necesario un marco de gestión eficaz para garantizar que el operador se desempeñe con responsabilidad y transparencia en pos de los intereses de la autoridad y, a su vez, para permitirle al operador controlar aspectos críticos de su propio entorno operativo (véase el recuadro 12.10).

RECUADRO 12.10.

El impacto de los diferentes niveles de control sobre el entorno operativo: comparación entre Londres (Reino Unido) y São Paulo (Brasil)

Tanto Londres como São Paulo son operadores eficaces en términos de indicadores de desempeño del servicio, pese a tener grados muy diferentes de control sobre sus respectivos entornos operativos. Los recientes logros de Londres son una historia de éxito apoyado por el Gobierno, mientras que la historia de São Paulo es una de excelencia operacional pese a las sustanciales restricciones con consecuencias imprevistas. London Underground, como subsidiaria de Transport for London (la autoridad metropolitana de transporte regional), tiene un nivel de control considerable sobre todos los factores que afectan su éxito, mientras que Metrô São Paulo controla muy pocos aspectos (véase el cuadro B12.10.1). Si bien algunas de estas diferencias son externas a un sistema de ferroviario urbano y su ciudad, gran parte de ellas está supeditada a la influencia y al control de sus respectivas autoridades.

CUADRO B12.10.1. Control sobre diferentes factores en el entorno operativo de los ferrocarriles urbanos

FACTOR	LONDRES	SÃO PAULO
Claridad en los objetivos y la asignación de riesgos	Sin contrato, pero con consenso	Sin contrato; cierto grado de consenso
Fondeo predecible	Sí, con cierto grado de incertidumbre futura	Inseguro
Control sobre los ingresos	Sí, con el apoyo del alcalde	Únicamente ingresos no tarifarios
Capacidad de definir o implementar una estrategia corporativa	Sí	No
Capacidad de contratar o reducir el personal	Sí	No
Influencia sobre proyectos importantes	Sí	Modernización únicamente (sujeto al financiamiento)
Control sobre los procesos de adquisiciones	Sí	No

Fuente: Adaptado de Banco Mundial y RTSC, 2017.

Cualquier estructura de gestión de los ferrocarriles urbanos debe ir acompañada de auditorías regulares. Las auditorías tanto internas como independientes son medios para evaluar la eficacia de los controles internos del operador de transporte ferroviario urbano. Mantener un sistema eficaz de controles internos reviste vital importancia para lograr los objetivos comerciales del operador de transporte ferroviario urbano, obtener informes financieros fiables de su operación, impedir el fraude y la malversación de sus activos, y minimizar sus costos de capital. Un marco de gestión eficaz y las auditorías relacionadas arrojan beneficios tanto para la autoridad como para el operador (Banco Mundial y RTSC, 2017) de las siguientes maneras:

- Permiten a los responsables de la toma de decisiones del Gobierno central y a los proveedores de financiamiento responsabilizar a la autoridad respecto de la planificación y la formulación de normas.
- Permiten a la autoridad responsabilizar al operador a través del escrutinio de propuestas, la normativa y, cuando corresponda, la rigurosa administración de los contratos.
- Ayudan a proteger al operador contra las decisiones políticas que tienen impactos operacionales y financieros a largo plazo.
- Establecen líneas de comunicación entre el operador y la autoridad.

Liderazgo tecnocrático

Una gestión eficaz depende, en gran medida, de la autonomía del operador, es decir, de su capacidad de designar personal de nivel superior con una perspectiva tecnocrática, de establecer términos y condiciones para el personal, de tomar decisiones importantes sin aprobación externa, de introducir nuevas prácticas comerciales, de modificar el servicio prestado, de integrar el servicio con otros proveedores, de controlar los costos y de cambiar las tarifas (Banco Mundial y RTSC, 2017). La autoridad es instrumental en el establecimiento de un modelo de liderazgo (por lo general, un directorio) con la experiencia técnica general necesaria para administrar, financiar, operar, mantener y expandir un sistema ferroviario urbano (como en el caso de Londres, véase el cuadro 12.5). Una dirección ejecutiva dedicada y comprometida con la facultad de tomar decisiones y el impulso político de innovar también es necesaria para guiar al operador de transporte ferroviario urbano hacia el éxito, ya sea en el sector público o en el privado.

Dotación adecuada de personal

El liderazgo tecnocrático de cualquier operador de transporte ferroviario urbano debe contar con el respaldo de niveles adecuados de personal técnico.

CUADRO 12.5. Implicancias de la composición del directorio en la viabilidad del operador: comparación entre Londres y Washington, DC

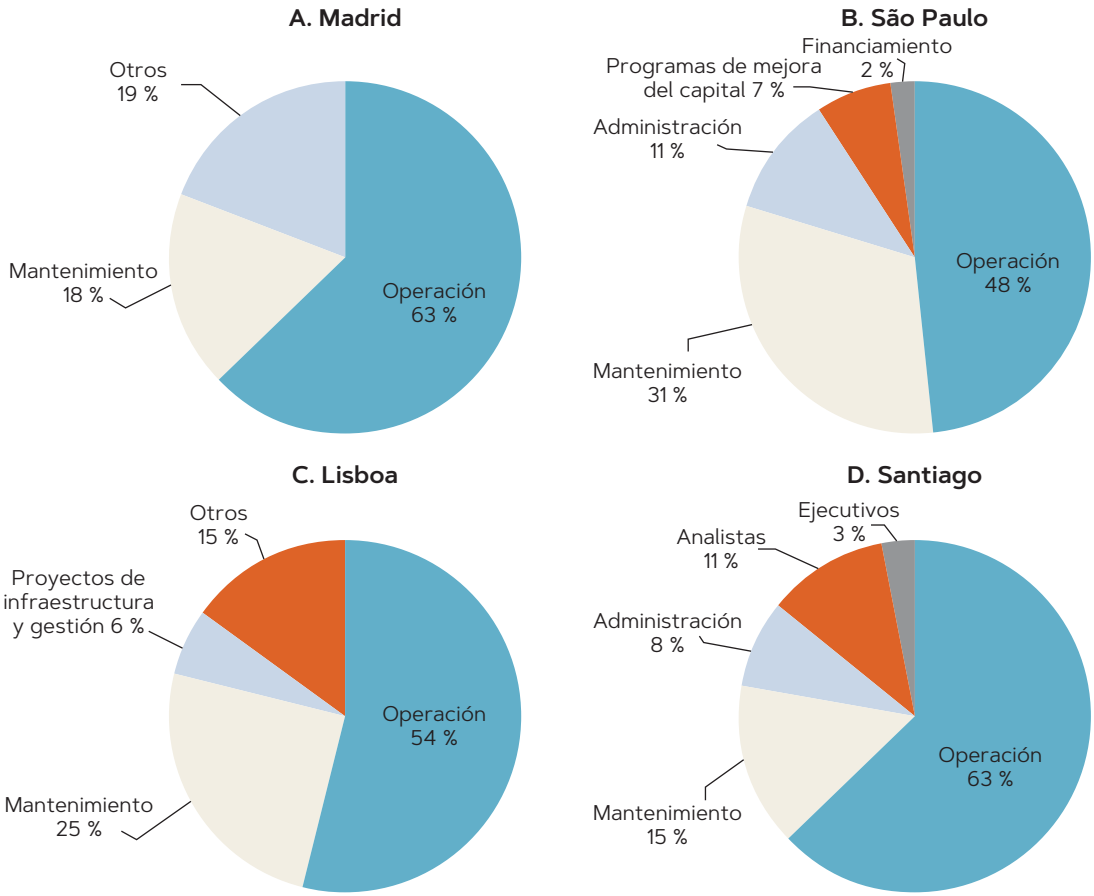
INDICADOR	LONDRES	WASHINGTON, DC
Composición del directorio	Transport for London, autoridad de transporte regional que tiene a su cargo la supervisión de todas las modalidades dentro de la red de transporte público, es regida por un directorio conformado por 15 miembros y presidido por el alcalde de Londres, quien designa a otros miembros en función de su experiencia técnica. Los miembros del directorio incluyen expertos en finanzas, desarrollo inmobiliario, accesibilidad, logística, aspectos laborales y operaciones de transporte ferroviario o público: • exdirector gerente de empresa operadora de transporte ferroviario; • exdirector ejecutivo de autoridad de infraestructura ferroviaria nacional; • expresidente del grupo de defensa al pasajero de Londres; • exsecretario general de importante sindicato. Los miembros del directorio son designados para dos mandatos de cuatro años, que coinciden con el mandato de cuatro años del alcalde de Londres.	La WMATA es regida por un directorio conformado por dos miembros titulares (y dos miembros suplentes) de cada una de las cuatro jurisdicciones políticas cubiertas por su área de servicio. Los ocho miembros se eligen en pares por designación política a cargo de las siguientes entidades: • el Consejo del Distrito de Columbia; • la Comisión Suburbana de Transporte de Washington (Maryland); • la Comisión de Transporte de Virginia del Norte; • administrador de Servicios Generales (Gobierno federal). De los dos miembros designados por el Gobierno federal, al menos uno debe ser usuario habitual del transporte público en el área.
Implicancias	• Toma de decisiones tecnocráticas basadas en la experiencia y los conocimientos técnicos. • Opiniones intersectoriales. • Perspectivas holísticas a largo plazo en relación con las decisiones. • Toma de decisiones en beneficio del sistema ferroviario urbano. • Directorio con bajo índice de rotación.	• Escaso aporte técnico o tecnocrático, sin calificación para que las personas con conocimientos relacionados con los ferrocarriles urbanos formen parte del directorio. • Toma de decisiones basada en intereses políticos, que favorece el cortoplacismo. • Directorio de representantes políticos con alto índice de rotación.

Fuente: Adaptado de Banco Mundial y RTSC, 2017; TfL, (s. f.); WMATA (s. f.).

Las operaciones de ferrocarriles urbanos requieren personal con un conocimiento especializado en materia de operación, gestión y mantenimiento de activos, programas de mejora del capital y gestión de proyectos de infraestructura (para las ampliaciones de las redes), financiamiento, administración y otros aspectos (véase el gráfico 12.2).

Otorgarle al operador la autonomía necesaria para tomar decisiones relativas al personal es fundamental, pero posiblemente no sea suficiente. Puede resultar

GRÁFICO 12.2. Porcentaje de personal dedicado a las diferentes áreas técnicas, incluida la operación de ferrocarriles urbanos, año fiscal 2014



Fuente: Adaptado de Pulido y Portabales, 2014.

difícil hallar personal adecuado debido a que el número de profesionales especializados en ferrocarriles urbanos de pasajeros sigue siendo relativamente bajo en la mayoría de los países de ingreso bajo y medio (Kumar y Agarwal, 2013). Asimismo, se trata de un campo tan complejo que la amplia variedad de aptitudes necesarias para una planificación exhaustiva generalmente es el resultado de varios años de experiencia. Por lo tanto, puede ser necesario establecer programas donde se brinde capacitación y perfeccionamiento de aptitudes al personal existente, contratar a personal del mercado y exponer a los nuevos

empleados a una mayor variedad de aptitudes que las que adquieren a través de su formación académica. Estos programas podrían incluir el lanzamiento de programas debidamente diseñados de nivel de maestría para crear un conjunto de potenciales trabajadores, talleres orientados al intercambio de conocimientos a cargo de consultores y expertos, y programas de pasantías con el operador para adquirir experiencia práctica (véase el capítulo 4). Además de las estrategias de formación de recursos humanos, los operadores también deben ser capaces de invertir en sistemas e instalaciones que contribuyan a mantener y actualizar los conocimientos institucionales.

Conclusiones y recomendaciones

Constituir una autoridad de transporte para coordinar las funciones estratégicas, priorizar las inversiones a nivel metropolitano y promover la integración multimodal a fin de maximizar la accesibilidad regional y la sostenibilidad a largo plazo del sistema de transporte. Los sistemas ferroviarios urbanos ofrecen los mayores beneficios cuando se los planifica como parte de una estrategia integrada de movilidad y uso del suelo y cuando se los integra completamente a un sistema de transporte multimodal (véanse los capítulos 2 y 3). Esta visión estratégica requiere de la coordinación entre los diferentes niveles, jurisdicciones y esferas tanto del Gobierno como del sector privado. Generalmente se crea una autoridad metropolitana de transporte u otro órgano regional para que se encargue de esta coordinación. Esta autoridad es responsable de la eficiencia económica a largo plazo, la accesibilidad regional y la sostenibilidad a largo plazo de todo el sistema de transporte, y deben otorgársele las facultades necesarias para emprender la planificación maestra, priorizar las inversiones, promover la integración de las distintas modalidades de transporte, y favorecer la participación adecuada del sector privado. Solo después de que dicha institución haya decidido adoptar una solución de ferrocarriles urbanos podrá considerarse la estructura de gestión e institucional para la ejecución y la operación del proyecto.

Las consideraciones de economía política permean todos los megaproyectos, que habitualmente involucran a varios niveles y sectores del Gobierno, complejos marcos institucionales y diversos grupos de partes interesadas; por tal motivo, los proyectos ferroviarios urbanos necesitan de promotores técnicos y políticos que den continuidad al impulso y al apoyo del proyecto. El liderazgo técnico y político dentro de un marco institucional sólido es clave

para superar los desafíos inherentes a la ejecución y la operación. Para su ejecución y operación exitosas, los megaproyectos a menudo necesitan contar con un promotor visible, es decir, con una o más personas con un alto grado de credibilidad e influencia dentro de la institución que sean capaces de gestionar procesos complejos que involucren a varios organismos y partes interesadas. Otros factores que determinan el éxito de las instituciones de ferrocarriles urbanos incluyen los siguientes:

- evaluación temprana y exhaustiva del marco institucional;
- enfoque en la estructuración del proyecto y en la transición de la elaboración del proyecto a la gestión del sistema;
- incorporación del conocimiento operacional en la autoridad y los organismos que dependen de ella;
- fomento de la adaptabilidad institucional.

La autoridad debe definir funciones institucionales para la ejecución y la gestión de los ferrocarriles urbanos mediante la constitución de un organismo o la delegación de tal responsabilidad en uno o más organismos que cuenten con un nivel adecuado de liderazgo, capacidad y sostenibilidad financiera. La autoridad pública debe decidir con la antelación suficiente qué entidades gestionarán la ejecución de las nuevas líneas de ferrocarriles urbanos durante el diseño, la construcción y la operación. Al considerar el primer proyecto ferroviario urbano en una ciudad dada, se recomienda constituir un organismo público que gestione la ejecución y que considere minuciosamente las opciones para la operación. Si no se cuenta con la capacidad técnica interna para tomar estas decisiones, la autoridad debe procurar la colaboración de expertos externos.

Se debe planificar cuidadosamente la transición de la construcción a la operación, ya sea dentro de una misma institución o entre entidades diferentes. Independientemente de que la ejecución y la operación de los sistemas ferroviarios urbanos estén en manos de entidades públicas o privadas, la experiencia internacional ha demostrado que la transición de la construcción al servicio lucrativo puede ser difícil. En el caso de transiciones dentro de la misma entidad pública, deben desarrollarse incentivos y estructuras de gestión para acompañar a la gerencia a pasar de un enfoque en la construcción a un enfoque centrado en la prestación de un servicio que supone un contacto directo con los usuarios. En el caso de transiciones entre un organismo de ejecución de proyectos y operadores privados o independientes, los conocimientos especializados en operaciones seguirán siendo necesarios durante el diseño y la

construcción de la infraestructura a fin de minimizar los riesgos y facilitar la sostenibilidad de las operaciones.

No existe una estructura organizativa "ideal" para las operaciones de ferrocarriles urbanos, por lo que la autoridad o el organismo responsable debe analizar cuidadosamente los marcos institucionales existentes y las ventajas y desventajas relativas de cada estructura. Cada estructura organizativa para la operación de ferrocarriles urbanos presenta ventajas y desventajas en cuanto a la rendición de cuentas ante la necesidad pública, la distribución equitativa del servicio, la coordinación de las operaciones con una estrategia de transporte urbano intermodal a largo plazo, la flexibilidad y la eficiencia de las operaciones, y la tasa de innovación. Por lo tanto, se deben analizar minuciosamente el entorno y las capacidades institucionales actuales y examinar la normativa y la legislación existentes para determinar la opción más conveniente del espectro que va desde operaciones totalmente públicas hasta las totalmente privadas. Las autoridades y los organismos públicos deben considerar la subcontratación o la privatización de funciones esenciales con sumo cuidado porque deben contar con un nivel de competencia y capacidad técnica que les permita supervisar el diseño del proyecto, la ejecución y la O&M a largo plazo de un sistema.

Debe facultarse a los operadores de transporte ferroviario urbano a través de objetivos y contratos claros al amparo de un marco de gestión eficaz para que desempeñen sus funciones y logren la mejora de los activos y los servicios. Los operadores de transporte ferroviario urbano más exitosos, ya sean entidades públicas o privadas, cuentan con el apoyo de marcos regulatorios y políticas de gobierno estables. Los operadores necesitan un fuerte apoyo político y jurídico externo, capacidad financiera, y los recursos humanos y la estructura de gestión necesarios para estar a la altura de su mandato y probar que son capaces de brindar un valor público.

Sea cual fuere la estructura institucional del operador, la autoridad puede ayudar a garantizar su éxito a través de las siguientes acciones:

- establecimiento de funciones, responsabilidades y objetivos de desempeño claros y de carácter vinculante para el operador;
- facilitación de sostenibilidad financiera a través de mecanismos estables de subsidios o fondeo plurianuales, una política tarifaria adecuada que se actualice anualmente y la capacidad del operador de generar ingresos no tarifarios y destinarlos a los gastos adecuados;
- creación de estructuras regulatorias y de gestión que alienten la adopción de prácticas de gestión sostenibles y orientadas al usuario.

Notas

Los autores desean agradecer a Leonardo Cañón Rubiano, del Banco Mundial, por sus contribuciones de contenido, y a los revisores Jorge Rebelo, Slobodan Mitrić, Daniel Pulido, Martha Lawrence y Arturo Ardila-Gómez, del Banco Mundial, e Yves Amsler y Dionisio González, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por compartir sus conocimientos especializados y sus críticas constructivas durante la elaboración de este capítulo.

1. En casos excepcionales, como las APP de integración vertical, algunas de estas funciones operativas pueden subcontratarse a un concesionario privado, en cuyo caso el organismo de ejecución del proyecto se desempeña como administrador de estos contratos (véase el capítulo 9). Incluso si es posible subcontratar algunas funciones, el organismo de ejecución del proyecto debe contar con la capacidad técnica y de gestión necesaria para gestionar y negociar estos acuerdos.

Bibliografía

Gwilliam, Kenneth M. (2002), "Strengthening Urban Transport Institutions", en *Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review*, capítulo 11, pp. 153-68, Washington, DC: Banco Mundial, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/928301468762905413/cities-on-the-move-a-world-bank-urban-transport-strategy-review

Heanue, Kevin y Andrew Salzberg (2011), *Metropolitan Transportation Institutions: Six Case Studies: Australia, Brazil, Canada, France, Germany, and the United States*, documento de trabajo sobre el transporte en Asia meridional, Banco Mundial, Washington, DC.

Jain, Priyanka, Sharon Cullinane y Kevin Cullinane (2008), "The Impact of Governance Development Models on Urban Rail Efficiency", en *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 42 (9): pp. 1238-50, https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.03.012.

Kumar, Ajay y O. P. Agarwal (2013), *Institutional Labyrinth: Designing a Way Out for Improving Urban Transport Services: Lessons from Current Practice*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17630.

Pulido, Daniel e Irene Portabales (2014), "Institutional Analysis of Metro Systems", presentación en el Banco Mundial, Washington, DC.

Rebelo, Jorge M. (1998), *Essentials for Sustainable Urban Transport in Brazil's Large Metropolitan Areas*, documento de trabajo sobre investigaciones relativas a políticas, Banco Mundial, Washington, DC, https://doi.org/10.1596/1813-9450-1633.

Strathclyde Partnership for Transport (SPT) (2017), *About SPT*, información corporativa de SPT, http://www.spt.co.uk/corporate/about/.

Transport for London (TfL) (s. f.), *Board Members*.

Van de Velde, Didier M. (1999), "Organizational Forms and Entrepreneurship in Public Transport. Part 1: Classifying Organisational Forms", en *Transport Policy* 6 (3): pp. 147-57.

Wilson, Nigel H. M. (1991), "Organizational Options for Public Transportation in the U.S.", en *Transportation Planning and Technology* 15 (2-3): pp. 405-14.

Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) (s. f.), *Board of Directors*, https://www.wmata.com/about/board/.

Banco Mundial y Centro de Estrategia Ferroviaria y del Transporte (RTSC) en el Imperial College London (2017), "The Operator's Story: Emerging Findings", presentación en el Foro Internacional

del Transporte, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Leipzig, Alemania, del 31 de mayo al 2 de junio. https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/The-Operator%27s-Story---Emerging-Findings---Leipzig-May-2017.pdf

Lecturas adicionales

Anderson, Richard J., Nicholas S. Findlay y Daniel J. Graham (2012), "Improving Fares and Funding Policies to Support Sustainable Metros", articulo presentado en la 91.ª Reunión Anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, Washington, DC, 22 al 26 de enero.

Fleishman, Dan (2010), *Transit Fare, Policy, Structure, and Technology*, Instituto Tecnológico de Massachusetts, Cambridge, MA.

Looi, Teik-Soon y Kim-Hong Tan (2009), "Singapore's Case of Institutional Arrangements for Fare Affordability", articulo presentado en la 11.ª Conferencia sobre Competencia y Propiedad en el Transporte Terrestre, Universidad de Tecnología de Delft, Delft (Países Bajos), 20 al 25 de septiembre.

Programa Nacional de Investigación Cooperativa del Transporte Ferroviario (NCRRP) (2015), *Alternative Funding and Financing Mechanisms for Passenger and Freight Rail Projects*, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte, National Academies Press.

Perrotta, Alex (2013), "Fare Collection and Fare Policy", informe oficial presentado en la Cumbre de Liderazgo de Transporte, Singapur.

Streeting, Mark y Phil Charles (2006), "Developments in Transit Fare Policy Reform", presentación en el 29.º Foro de Investigación sobre Transporte de Australasia, Gold Coast (Queensland), 27 al 29 de septiembre.

NORTH
1 EAST

13 GARANTÍA DE SOSTENIBILIDAD FINANCIERA Y OPERACIONAL

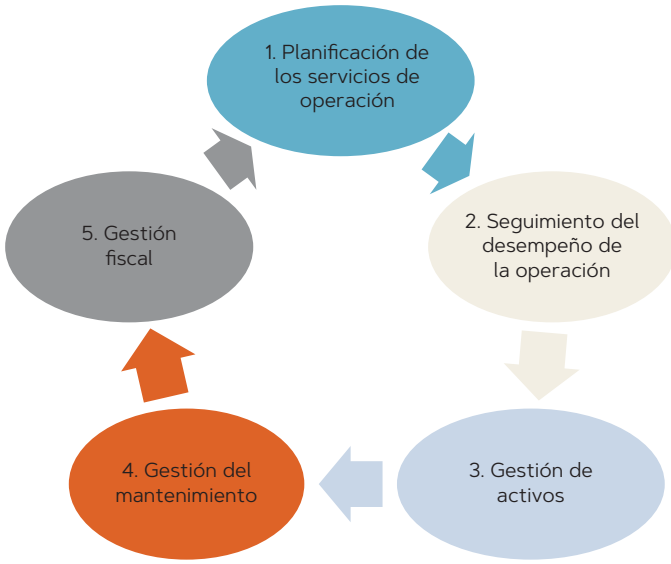
Georges Darido, Joanna Moody y Wenyu Jia

La operación sostenible de un sistema ferroviario urbano es compleja y requiere de un conjunto de herramientas y capacidades diferentes de las que se necesitan para la ejecución de la infraestructura inicial del sistema. Los sistemas ferroviarios urbanos requieren la prestación diaria del servicio, a la par de proyectos de capital continuos para el mantenimiento, la renovación y la modernización del sistema. Además, la operación de los sistemas ferroviarios urbanos se lleva a cabo en coordinación con los modos de transporte alimentadores y en cumplimiento de la política tarifaria establecida para la región metropolitana (véase el capítulo 2). La reglamentación y la supervisión de este tipo de servicio multimodal e integración tarifaria son responsabilidad de las autoridades gubernamentales, mientras que la planificación y la gestión de la operación y el mantenimiento (O&M) son responsabilidad del operador de transporte ferroviario (véase el capítulo 12). En este capítulo, que se centra en las responsabilidades de O&M del operador de transporte ferroviario urbano, se analizan cinco pilares clave de la operación de transporte ferroviario urbano sostenible (véase el gráfico 13.1):

1. planificación de servicios de operación;
2. seguimiento del desempeño de la operación;
3. gestión de activos;

Fotografía: Obras en vías como parte de la reconstrucción del viaducto de Myrtle, en la línea M, Ciudad de Nueva York, 2018. *Fuente:* Marc A. Hermann, Autoridad Metropolitana de Transporte, a través de Flickr Commons (CC BY 2.0).

GRÁFICO 13.1. Ciclo sostenible de las operaciones de transporte ferroviario urbano



4. gestión del mantenimiento;
5. gestión fiscal.

Gran parte de las capacidades operativas del sistema obedecen al diseño del sistema (véase el capítulo 5). Por ende, es fundamental contar con el aporte de un "operador en la sombra" desde los primeros pasos del desarrollo del proyecto. Una vez ejecutada la infraestructura, la operación de un sistema ferroviario urbano requiere de un enfoque técnico y estratégico de O&M en coordinación con las cuestiones financieras. La sostenibilidad financiera compensa los costos de O&M con los ingresos obtenidos a través del cobro de los boletos, los negocios secundarios y los subsidios externos. Mientras que en el capítulo 10 de este manual se analizan las fuentes de fondos, financiamiento e ingresos para los proyectos ferroviarios urbanos —con el énfasis puesto en cubrir y garantizar los gastos de capital y los costos de la puesta en marcha—, en este capítulo se explora cómo estas fuentes y políticas de ingresos deben examinarse durante la vida útil de los sistemas ferroviarios urbanos a la par de los cambios en los entornos operativos. Gran parte de la información que se presenta en este capítulo es aplicable a sistemas ferroviarios tanto nuevos (sin infraestructura previa) como existentes (acondicionamiento o ampliación de infraestructura previa), y se abordan formas de garantizar la sostenibilidad de sus operaciones y finanzas, y, al mismo tiempo, prestar un servicio de calidad para todos.

Planificación de servicios de operación

En un plan de servicios de operación, se establece el marco para los niveles de servicio ferroviario y los requisitos de la flota. En los planes de operación a corto plazo, se establecen objetivos para garantizar que el operador de transporte ferroviario urbano brinde una oferta de servicios y flota adecuada para satisfacer la demanda de los pasajeros. Estos planes a corto plazo deben complementarse con objetivos a más largo plazo (como la proporción de todos los viajes de la región metropolitana que se realizan en transporte ferroviario) fijados en hitos anuales y que permitan evaluar el crecimiento de la flota y las mejoras en infraestructura para satisfacer y alentar la demanda futura. Al emprender la planificación del servicio, es fundamental reconocer que la demanda es elástica con respecto a la oferta de servicios. Por consiguiente, los planes de servicios deben satisfacer la demanda actual y brindar una calidad de servicio que fomente el crecimiento del número de pasajeros.

La prestación del servicio se ve restringida por la capacidad máxima del sistema. Esta capacidad máxima está determinada por muchos factores, entre los que se incluye el diseño del sistema de señalización y de la infraestructura del sistema ferroviario urbano. Los sistemas automatizados de control de trenes pueden permitir que los trenes funcionen con intervalos breves entre sí y proteger el espacio entre trenes consecutivos en una línea (véase el capítulo 5). Sin embargo, incluso cuando la señalización es de última generación, existen otras restricciones relacionadas con la infraestructura de las vías, la capacidad de las estaciones y el diseño de los trenes que pueden limitar la capacidad máxima. Entre los componentes de la infraestructura, los cruces, las intersecciones y la geometría de las vías afectan de manera directa a las velocidades de operación y los tiempos de recorrido. Por ejemplo, en las intersecciones donde convergen varias líneas, los trenes deben reducir la velocidad para permitir una distancia segura para la confluencia, lo que redunda en mayores tiempos de recorrido.

En la planificación de la operación de un sistema ferroviario urbano, se tienen en cuenta las restricciones de la infraestructura, los sistemas de control de trenes, la capacidad de los trenes y coches, la capacidad de las estaciones, los horarios de servicio, la demanda de los pasajeros y la equidad. El producto clave de la planificación de servicios a corto plazo es el horario de los trenes, incluidos su frecuencia y espaciamiento y la coordinación de las combinaciones entre las diferentes líneas de la red. En la planificación de los servicios de operación a corto plazo, a menudo se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- *Intervalos entre trenes.* El intervalo entre trenes es una medida de la distancia o el tiempo entre los vehículos que operan en un sistema de transporte. Dado que el intervalo mínimo entre trenes se ve restringido por el diseño de la

infraestructura (véase el capítulo 5), el diseño del sistema debe contemplar intervalos que permitan el cumplimiento de los objetivos de accesibilidad regional del sistema (véase el capítulo 2). El operador de transporte ferroviario urbano establece los intervalos entre trenes conjuntamente con los proveedores de otros servicios de transporte de la región a fin de cumplir con las normas de desempeño y el nivel de servicio estipulado por las autoridades gubernamentales (véase el capítulo 12). Con estas restricciones en mente y con el objetivo de brindar el mejor servicio para sus usuarios, cada operador de transporte ferroviario urbano elabora sus propias políticas de intervalos entre trenes teniendo en cuenta otros factores operativos, como los volúmenes de pasajeros, la composición de los trenes, los tiempos de espera, la rotación de las terminales y los intervalos combinados entre trenes cuando existen varias líneas que comparten vías.

- *Tiempo de recorrido.* El tiempo de recorrido de cada tren se define como el tiempo total programado de viaje en tren de extremo a extremo, incluidos los tiempos de espera en las estaciones y las escalas en las terminales. Los tiempos de recorrido varían según el momento del día y los volúmenes de pasajeros. El tiempo de regulación en terminales es el tiempo de recuperación para que los trenes y operadores inviertan el servicio. Los tiempos de regulación en terminales se ven afectados por los diseños de las terminales y las prácticas de operaciones. Por ejemplo, un cruce frontal permite el reposicionamiento rápido de un tren para retomar el servicio al ingresar en el andén de la terminal asignado antes de finalizar el viaje anterior. Por su parte, un cruce trasero supone un mayor tiempo de regulación en terminales porque el tren debe desplazarse hasta el cruce antes de regresar al andén para el próximo viaje. Las estrategias operativas también desempeñan un papel importante en la gestión del tiempo de escala; un regulador o un sistema automatizado con grado de automatización (GdA) 4 puede acortar los tiempos de regulación en terminales y posibilitar una mejor gestión de los intervalos entre trenes.

- *Requisito de vehículos en servicio comercial.* El requisito de vehículos en servicio comercial está compuesto por dos elementos: los trenes de uso lucrativo programados de una línea y los trenes de refuerzo. Los trenes de refuerzo están estratégicamente posicionados en la red ferroviaria para absorber la demanda adicional de las horas pico (por lo general durante las horas pico matutinas y vespertinas) y, en algunos casos, para restablecer rápidamente el servicio cuando se producen interrupciones. El requisito de vehículos en servicio comercial se expresa tanto en trenes como en coches, especialmente cuando el sistema ferroviario urbano emplea diferentes tipos de vagones.

- *Porcentaje de vehículos en reserva.* Algunos coches son apartados como reserva en caso de averías imprevistas de los vehículos de uso lucrativo, programación de eventos especiales, maniobras de emergencia y demás patrones irregulares del servicio. El porcentaje de vehículos en reserva oscila desde apenas un 10 % para una flota mayormente nueva hasta más del 20 % para una flota de mayor antigüedad; la regla general es un 15 %.
- *Programación y prestación del servicio.* Los operadores de transporte ferroviario urbano elaboran los horarios a partir del plan de operación. La programación y la dotación de personal de los trenes es un proceso complejo en el cual se estipulan los lugares y los horarios de salida y llegada de los trenes, se aplican medidas para aumentar la eficiencia y se garantiza el cumplimiento de normas laborales y demás requisitos reglamentarios.

Al diseñar las características del servicio y los objetivos de frecuencia, las autoridades reglamentarias y los operadores de transporte ferroviario urbano deben considerar niveles de servicio equitativos para todos los corredores ferroviarios y para todas las comunidades. En cualquier región urbana, algunos corredores ferroviarios atraviesan zonas de actividades económicas altamente concentradas, mientras que otros corredores prestan su servicio a comunidades social o económicamente desfavorecidas que necesitan acceso al transporte ferroviario (si bien quizás con una menor demanda) (véase el capítulo 2).

Planificación de servicios especiales u ocasionales

Además de los horarios regulares que ofrece un servicio de transporte ferroviario de alta frecuencia y alta capacidad, algunos sistemas pueden modificar sus niveles de servicio y horarios cuando la demanda es diferente de la de los días de semana y fines de semana habituales, como durante las vacaciones o eventos especiales (por ejemplo, eventos deportivos y concentraciones políticas). Los sistemas a menudo tienen diferentes horarios y configuraciones de vehículos para estos casos, ya sea para adaptarse a una menor demanda durante las vacaciones o bien para afrontar el incremento repentino antes y después de eventos especiales. Esta práctica generalmente se conoce con el nombre de "servicio especial" y debe diseñarse de forma tal que la oferta de servicio esperada se adecúe a la demanda de los pasajeros. Cualquier cambio en el servicio regular debe decidirse con antelación, de modo que puedan tomarse las medidas correspondientes en relación con la dotación de personal interno y otras cuestiones, y que las características del servicio puedan incorporarse a los sistemas de información para pasajeros y comunicarse al público.

Designación del personal y la tripulación

Una vez que se asigne el material rodante a la infraestructura existente, es necesario designar la tripulación que operará todos los servicios planificados. La contratación de personal debidamente cualificado es un aspecto importante de la planificación de los servicios que se ve afectado por las leyes laborales locales y por la disponibilidad de una fuerza laboral local con las aptitudes necesarias. Gracias a los nuevos avances en materia de señalización y tecnologías de automatización, los sistemas pueden considerar la implementación de operaciones ferroviarias sin supervisión, que le permiten a la tripulación desempeñar varias funciones diferentes, tanto operativas como de atención a los pasajeros (véase el recuadro 13.1). Además de la tripulación necesaria para el

RECUADRO 13.1.

Uso de personal multifuncional para la mejora de la operación: Barcelona y Guangzhou

Transport Metropolitans de Barcelona

Transport Metropolitans de Barcelona ha desarrollado e incorporado un innovador modelo de dotación de personal que consiste principalmente en roles multifuncionales junto con la introducción de un grado de automatización (GdA) cada vez mayor en su red (véase el capítulo 5). La automatización ha reducido el esfuerzo necesario para llevar a cabo tareas operativas, lo que le ha permitido al personal desempeñar una combinación de funciones, entre ellas, de conducción, de atención a los pasajeros y otras funciones necesarias en las estaciones. Los beneficios clave de esta combinación entre una mayor automatización y un personal multifuncional incluyen menores índices de absentismo del personal y un mayor grado de fiabilidad del servicio. Los tiempos de inactividad debidos a causas internas se han reducido en un 75 %, ya que los problemas operativos pueden ser resueltos rápidamente por diferentes miembros del personal, en lugar de tener que esperar a personal capacitado especialmente en el problema en cuestión. El personal que se ausenta es reemplazado con mayor facilidad gracias a la capacitación multifuncional del personal, lo cual ha mejorado la fiabilidad del sistema. El nivel de satisfacción del cliente y del personal también ha mejorado.

Guangzhou Metro Corporation

En Guangzhou, donde la mayor parte de la red no cuenta con operaciones automatizadas, la capacitación de personal multifuncional para llevar a cabo una serie de tareas necesarias para mantener el servicio ha traído consigo un aumento de la eficiencia de la mano de obra. Estas pueden incluir tareas de atención al cliente y de ingeniería, como la capacidad para diagnosticar y solucionar fallas frecuentes. También reduce la necesidad de personal especialmente capacitado para una tarea específica y da lugar a un progreso profesional que redunda en una mayor retención del personal y en mayores niveles de aptitudes.

Fuente: Adaptado de Banco Mundial y RTSC, 2017.

material rodante, es necesario considerar la dotación de personal de atención para las estaciones y otras funciones de servicio al cliente en función del modelo de operación de las estaciones de la red.

Seguimiento del desempeño de la operación

Una vez que se establece e implementa el plan de servicios de operación, es importante realizar un seguimiento del desempeño de la operación real respecto de la planificada. La medición y la elaboración de informes de desempeño son de gran importancia para los operadores de transporte ferroviario, los asociados en el financiamiento, las instituciones de supervisión y los clientes. La elaboración de informes de desempeño[1] permite evaluar el nivel y la calidad de los servicios prestados, las deficiencias en la operación y la infraestructura, y las potenciales oportunidades de mejora en los planes actuales de servicios de operación.

El seguimiento del desempeño de la operación comprende los siguientes tres pasos, cada uno de los cuales se describe en mayor detalle en las siguientes subsecciones:

1. establecimiento de indicadores de desempeño y recopilación de datos;
2. determinación de la frecuencia de presentación de informes;
3. síntesis y comunicación eficaz de resultados.

Establecimiento de indicadores de desempeño de la operación y recopilación de datos

El primer paso para la medición y la elaboración de informes sobre el desempeño de la operación es determinar qué indicadores se recopilarán y analizarán[2]. Si bien muchos indicadores de desempeño para la operación del transporte ferroviario urbano son de aplicación amplia, determinar cuáles usar y cómo usarlos en relación con un sistema ferroviario urbano depende de la configuración de la infraestructura, las estaciones y el material rodante. Se recomienda que cada operador de transporte ferroviario urbano establezca un conjunto de indicadores de desempeño en función de las características del sistema y de las aplicaciones de los datos como el cumplimiento de obligaciones contractuales relativas al nivel de servicio o la mejora de la planificación de los servicios de operación o las relaciones con los clientes. La definición de estos indicadores de desempeño se torna aún más crucial cuando el operador está sujeto a contratos de concesión con umbrales de desempeño definidos. En proyectos elaborados a través de asociaciones público-privadas (APP) o bien en los cuales la operación

y el mantenimiento se llevan a cabo en el marco de un contrato de gestión de servicios, estos indicadores de desempeño operativo se utilizan para medir la disponibilidad del servicio según los términos del acuerdo en cuestión. En este tipo de contratos, los indicadores de desempeño pueden estar vinculados al mecanismo de pago, de modo que puedan aplicarse deducciones en el pago si el operador no cumple con los objetivos especificados (véase el capítulo 9).

Muchos tipos de indicadores están relacionados con diferentes aspectos del desempeño del sistema y el nivel de servicio. En esta sección, se analizan dos tipos amplios de indicadores de desempeño de la operación para los sistemas ferroviarios urbanos: los indicadores de desempeño de la línea y los indicadores de desempeño de la estación. Para los sistemas en los cuales la operación está externalizada ya sea a través de un acuerdo de APP u otro tipo de contrato de O&M, puede realizarse el seguimiento de muchos otros indicadores de desempeño, cuyo cumplimiento puede lograrse a través de sanciones o incentivos (véase el capítulo 9). Teniendo en cuenta que existe mucha variación y que no existe un único conjunto de indicadores capaz de reflejar plenamente la compleja naturaleza de las operaciones de los sistemas ferroviarios urbanos, en esta sección se presentan conceptos de medición para los indicadores que más se utilizan para evaluar el movimiento de trenes y pasajeros a través del sistema.

Indicadores de desempeño de la línea

Con los indicadores de desempeño de la línea se mide el desempeño en relación con la capacidad y la operación de una línea. La capacidad de una línea se define como el número máximo de trenes o pasajeros que pueden trasladarse en una sola línea. Los indicadores de desempeño de la línea describen cómo los trenes y la infraestructura lineal respaldan la operación y cómo la oferta y la calidad del servicio satisfacen la demanda de los pasajeros. La mayoría de los operadores de transporte ferroviario urbano hace un seguimiento de varios indicadores de desempeño de la línea, ya que cada indicador refleja un aspecto diferente de la calidad de la operación. Los siguientes son algunos indicadores de desempeño de la línea habitualmente utilizados:

- *Velocidad comercial*. La velocidad comercial es el resultado de las características del material rodante y del diseño de la infraestructura del sistema, como el control de trenes, el espaciamiento entre las estaciones y la topología de las vías, y se ve afectada directamente por las condiciones de la infraestructura y el material rodante. Un mayor espaciamiento entre las estaciones, como el que existe en la periferia de las redes de trenes metropolitanos, permite que los trenes mantengan mayores velocidades. Por el contrario, las estaciones menos espaciadas, como las de los sistemas de metro en el centro de una

ciudad, permiten apenas el tiempo necesario para la aceleración y la desaceleración. En cualquier sistema, las vías curvas exigen menores velocidades comerciales, mientras que en las vías tangentes se alcanzan mayores velocidades. Así, las decisiones sobre la vía segregada o el trazado en planta tomadas durante la etapa del diseño afectan a la operación de manera directa.

- *Intervalo entre trenes.* Para lograr un equilibrio entre la oferta de servicios y la cambiante demanda de los pasajeros a lo largo del día, algunos operadores de transporte ferroviario urbano optan por diferenciar los intervalos entre trenes en horas pico, horas valle, fines de semana y servicios especiales. Otros, en especial en los sistemas ferroviarios metropolitanos o suburbanos, aplican intervalos uniformes entre trenes durante todo el día. En un entorno operativo donde existen aumentos repentinos de la demanda y servicios de alta frecuencia para horarios pico, el intervalo real entre trenes a menudo se desvía respecto de los intervalos entre trenes programados.

- *Fiabilidad.* Con la fiabilidad se mide el desempeño en relación con la puntualidad, aspecto que suele identificarse como el principal factor determinante de la satisfacción del cliente. Una mayor fiabilidad trae consigo muchas consecuencias positivas, incluidos el bienestar social y el beneficio financiero para el operador, a menudo a través de un aumento del número de pasajeros (Rehnström, 1991). Para medir la fiabilidad del servicio se utilizan varios indicadores, entre los cuales se encuentran los indicadores orientados al operador, que son lo más utilizados, y los orientados a los pasajeros (véase el recuadro 13.2). La gestión de incidentes durante la planificación de la O&M es un factor determinante muy importante de la fiabilidad de la operación.

- *Volumen máximo de carga.* Con el volumen máximo de carga se mide la congestión de pasajeros en un tren. Comprender la ubicación, los horarios y el nivel del volumen máximo de carga ayuda a los operadores de transporte ferroviario urbano a elaborar operaciones y estrategias de inversión tendientes a aliviar la congestión y ampliar la capacidad de la línea. Aumentar la longitud del tren es una forma rápida de reducir el volumen máximo de carga, siempre y cuando haya vagones de reserva y la longitud se mantenga dentro de las restricciones relativas a la longitud de los andenes de las estaciones y a las capacidades de potencia y tracción del sistema. Para considerarse productiva, una línea ferroviaria urbana debería trasladar volúmenes máximos de carga similares en ambas direcciones a fin de maximizar el aprovechamiento de su capacidad y producir mayores niveles de eficiencia e ingresos (véase el gráfico 13.2). En realidad, no obstante, debido a la distribución irregular de los empleos y las viviendas a lo largo del corredor de transporte

RECUADRO 13.2.

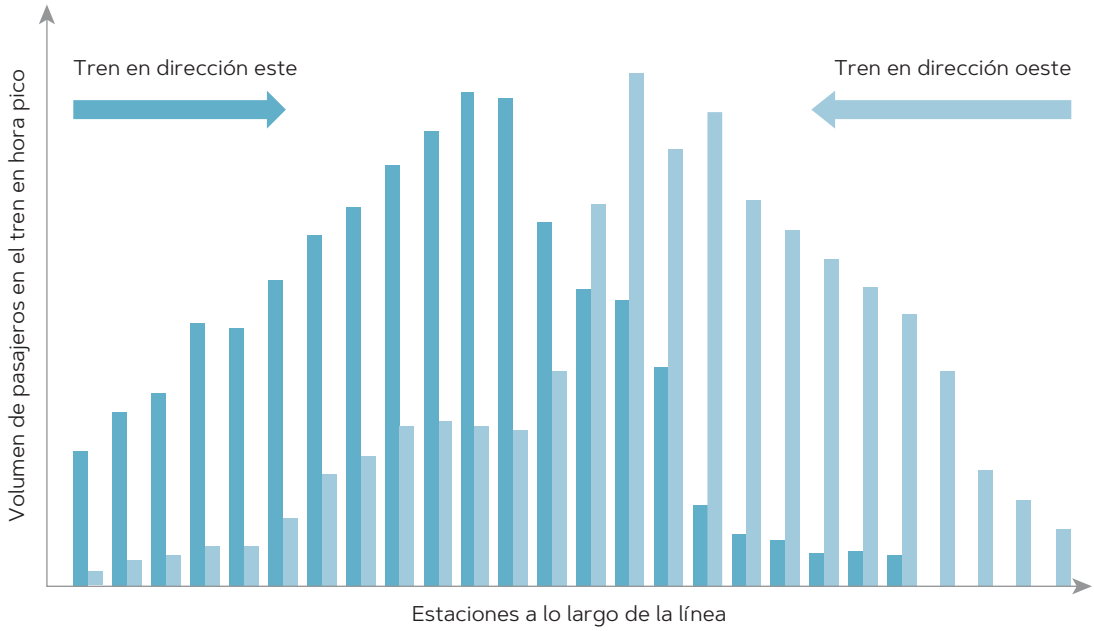
Las medidas de fiabilidad orientadas al operador en comparación con aquellas orientadas al pasajero

Las medidas de fiabilidad orientadas al operador tienden a centrarse en la vulnerabilidad de la red a las interrupciones y en el desempeño operativo de la red en comparación con algún nivel de servicio acordado. Las métricas tradicionales orientadas al operador incluyen medidas de disponibilidad del servicio por ejemplo, el número de cancelaciones de trenes, la puntualidad promedio o la regularidad por ejemplo, el porcentaje de trenes que llegan en el horario estipulado, la vulnerabilidad de la red (por ejemplo, el número de incidentes por causa) y la demora total y promedio (en unidades de tiempo) de todos los trenes de la red. Todos los sistemas ferroviarios urbanos medianos y grandes pertenecientes a CoMET[a] y Nova[b] —grupos dedicados al establecimiento de parámetros comparativos— llevan un seguimiento de la mayoría, si no de la totalidad, de estas medidas orientadas al operador y elaboran informes al respecto (Barron y otros, 2013). Estas medidas pueden calcularse fácilmente por medio de datos de las operaciones provenientes de los sistemas de señalización y control de trenes. Son de gran utilidad para tomar decisiones sobre cómo y dónde invertir a fin de mejorar la fiabilidad del servicio de trenes. Sin embargo, estas medidas globales del desempeño de la red solo tienen en cuenta la perspectiva del operador o la oferta, y a veces no reflejan la experiencia del usuario. Por ende, algunos sistemas ferroviarios urbanos están incorporando datos basados en la demanda provenientes de los sistemas automatizados de validación con el fin de elaborar medidas orientadas a los pasajeros que permitan describir el grado de variabilidad e incertidumbre en los tiempos de viaje o de espera.

Algunas de las medidas de fiabilidad orientadas a los pasajeros más utilizadas incluyen el índice de tiempo de viaje a través del cual se mide cuánto tiempo adicional se extienden los viajes durante las horas pico en comparación con las horas valle y los índices de tiempo de planificación y tiempo de margen a través de los cuales se mide el tiempo total y el tiempo extra, respectivamente, que los pasajeros deben contemplar para garantizar una llegada de libre demanda (Lomax y otros, 2003). En el caso de los sistemas que utilizan tarjetas inteligentes para la validacióna la entrada y a la salida, con lo que se registra información correspondiente a todo el viaje, es posible comparar el tiempo de viaje real entre las estaciones para cada viaje con el tiempo programado para ese viaje y obtener, de este modo, una medida de la fiabilidad del tiempo de viaje entre todos los posibles pares de origen-destino de la red. Este indicador es usado por la Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington (WMATA), en Washington, DC (Duggan, 2016). En el caso de los sistemas donde el usuario debe usar la tarjeta inteligente únicamente para el ingreso a la estación, en los que se registra información de origen y destino con un menor grado de precisión, es posible calcular el porcentaje de pasajeros que esperaron un tiempo menor que el intervalo entre trenes programado y obtener, de este modo, una métrica de la fiabilidad del tiempo de espera, como ocurre en Boston, en el sistema ferroviario de la Autoridad de Transporte de la Bahía de Massachusetts (MBTA, 2016).

a. CoMET: Los metros de Beijing, Berlín, Ciudad de México, Guangzhou, Hong Kong (Región Administrativa Especial de China), Londres, Madrid, Moscú, Nueva York, París, Santiago, São Paulo, Shanghái y Taipéi.
b. Nova: Los metros de Bangkok, Barcelona, Bruselas, Buenos Aires, Delhi, Lisboa, Milán, Montreal, Nápoles, Newcastle, Río de Janeiro, Singapur, Sídney y Toronto.

GRÁFICO 13.2. Ejemplo de medición e informe del volumen máximo de carga



Fuente: Adaptado de Antos, Jia y Parker, 2017, a partir de datos de la WMATA.

ferroviario urbano, el resultado suele ser un volumen máximo de carga en la dirección del viajero regular y una carga liviana en la dirección contraria.

- *Ocupación de los coches.* Con la ocupación de los coches se mide la congestión de pasajeros en un coche. Hay diferentes maneras de estimar la ocupación de un coche, por ejemplo, calculando la cantidad de pasajeros por pie o metro cuadrado (Londres) o por vagón (Washington, DC), la capacidad óptima de pasajeros (Ciudad de Nueva York), el número de personas de pie por pie cuadrado o el número de pasajeros por asiento (Jia y Chow, 2015).
- *Tiempo en paradas.* Con el tiempo en paradas se mide el tiempo transcurrido en el andén de una estación entre el momento en que un tren se detiene para que los pasajeros desciendan y el momento en que vuelve a ponerse en marcha luego de ser abordado por nuevos pasajeros. El tiempo en paradas está determinado por las configuraciones de los andenes y los trenes, el volumen de pasajeros que descienden y que abordan el tren, y la distribución de los pasajeros a lo largo del andén. El tiempo en paradas promedio previsto no siempre refleja los tiempos en paradas reales en las diferentes estaciones de la línea o el sistema. Es el tiempo en paradas real el que condiciona la velocidad comercial y la experiencia del cliente en relación con el tiempo de viaje.

Los tiempos en paradas excesivos o irregulares redundan en demoras en la operación del tren, ocasionan una adhesión deficiente a los intervalos entre trenes y reducen la eficiencia y la fiabilidad. El seguimiento del desempeño en términos de tiempo en paradas permite a los operadores de transporte ferroviario urbano mejorar o modificar los horarios y tomar medidas correctivas.

Los datos precisos y oportunos y la tecnología de datos influyen en la selección de los indicadores de desempeño. Cada indicador se calcula a partir de diferentes datos, no todos los cuales pueden encontrarse disponibles para un sistema ferroviario urbano en particular. Para la mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos, los datos de intervalos entre trenes y tiempo en paradas pueden obtenerse fácilmente de cualquier centro de control y datos de operaciones ferroviarias. Sin embargo, para el volumen máximo de carga se requiere una interfaz para descargar los datos de origen y destino de los torniquetes de validación de boletos y traducirlos en estimaciones basadas en la línea; por ende, se trata de un indicador que solo puede aplicarse a los operadores de transporte ferroviario urbano que cuentan con los sensores y la tecnología de recopilación de datos necesarios para el mantenimiento de datos de origen y destino. Si no se dispone de mecanismos de recopilación automática de datos de origen y destino, los organismos de transporte ferroviario urbano pueden realizar, con menor frecuencia, cómputos manuales del número de pasajeros que descienden, abordan y viajan en las estaciones con volúmenes máximos de carga. Los cómputos manuales requieren de mano de obra suficiente y de un compromiso a largo plazo para garantizar que los datos sean comparables y puedan someterse a seguimiento en el tiempo, por lo que no es aconsejable reemplazar la generación automática de datos por métodos manuales, salvo en caso de contingencias.

Indicadores de desempeño de la estación

Las estaciones son los espacios donde los pasajeros ingresan en el sistema ferroviario urbano, salen de él y realizan trasbordos entre las distintas líneas. La capacidad y el diseño de las estaciones determinan los movimientos máximos de pasajeros, tanto horizontales como verticales, a lo largo de diferentes instalaciones de circulación. Una estación típica de ferrocarril urbano comienza con un acceso vertical (escaleras mecánicas, escalinatas y ascensores) en la calle; uno o más entrepisos con vendedores de boletos, torniquetes de validación de boletos y puestos de la estación, y más instalaciones verticales que conectan los entrepisos con los andenes. Las estaciones de trasbordo cuentan con instalaciones verticales en diferentes puntos para conectar los andenes inferiores con los

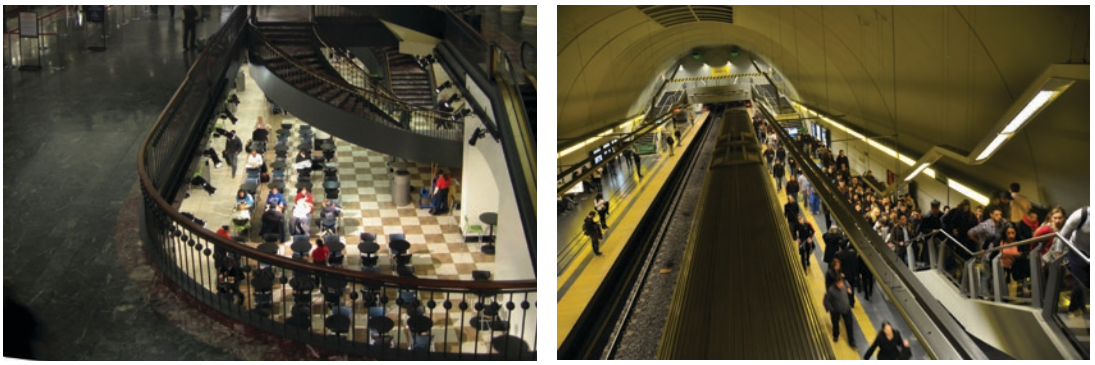
superiores. Las estaciones de ferrocarril urbano son sistemas complejos y difíciles de medir debido a su tamaño compacto y al hecho de que los movimientos de pasajeros y las instalaciones de circulación interactúan entre sí; un embotellamiento en un lugar produce una reacción en cadena en otras instalaciones de circulación (Antos, Jia y Parker, 2017). Debido al alto grado de variación en los diseños de las estaciones, los operadores de transporte ferroviario urbano deben seleccionar cuidadosamente las medidas de desempeño de la estación para los torniquetes de validación de boletos, el acceso vertical (es decir, ascensores, escaleras mecánicas y escalinatas) y los andenes aplicables a su sistema (TCRP, 2013).

- *Torniquetes de validación de boletos.* El tipo, la capacidad, el número y la ubicación de los torniquetes de validación de boletos determinan la rapidez con la cual los pasajeros que ingresan o salen pueden despejar el entrepiso y dirigirse a los andenes o a la estación. Despejar el tráfico saliente de los pasajeros que descienden todos juntos de un tren es más importante que despejar el tráfico entrante, ya que el espacio inmediatamente anterior a los torniquetes de validación de boletos suele ser reducido y las colas pueden desbordarse rápidamente e irrumpir en los espacios de circulación hasta los andenes. En comparación, el tráfico entrante no suele ser tan problemático, ya que las llegadas a la estación son más espaciadas en términos de tiempo y los torniquetes de validación de boletos pueden ayudar a regular los flujos de ingreso. Entre las medidas arrojadas por los torniquetes de validación de boletos se incluyen el tiempo de despeje (segundos por pasajero) y la relación entre volumen y capacidad (V/C) —el número de pasajeros que pasan dividido por el número teórico máximo de pasajeros que puede alojarse con la capacidad máxima durante un tiempo dado. Al elaborar estas medidas, los datos deben basarse en intervalos de 15 a 30 minutos en las horas pico.

- *Ascensores, escaleras mecánicas y escalinatas.* Todas las estaciones de ferrocarril urbano están construidas con una distribución vertical, desde el nivel de la calle a andenes subterráneos o elevados, lo cual hace necesario el uso de ascensores, escaleras mecánicas y escalinatas para que los pasajeros puedan circular entre los diferentes niveles (véase la imagen 13.1). Los ascensores, en particular, facilitan el movimiento de personas —en especial para los pasajeros con movilidad reducida— y suelen ser el medio preferido de los pasajeros en las estaciones de mayor profundidad.

Debido a las restricciones de espacio, las instalaciones de circulación vertical están ubicadas a lo largo de trayectos con un gran volumen de tráfico, donde los pasajeros que circulan en diferentes direcciones se mezclan entre sí y con los

IMAGEN 13.1. Niveles y acceso vertical en espacio frontal antes de los torniquetes de validación de boletos en la Union Station, Washington, DC (izquierda), y junto a un andén en Buenos Aires (derecha)

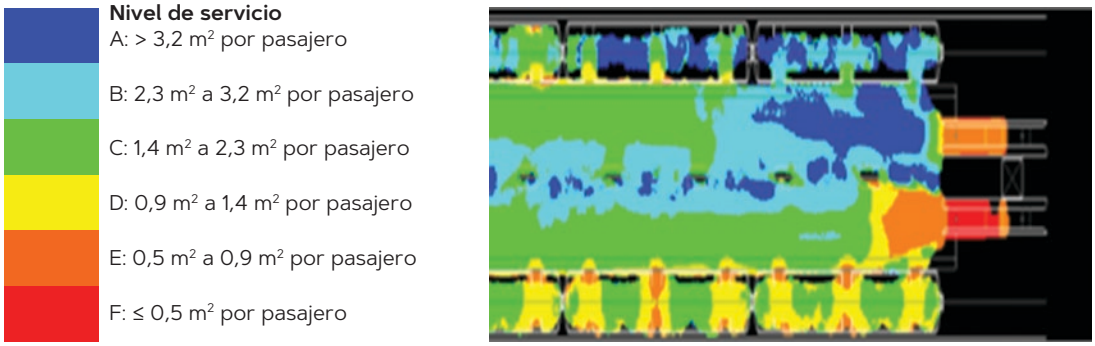


Fuente: Carlos Felipe Pardo (CC BY 2.0).

pasajeros que esperan en el andén. La falta de capacidad para despejar las colas en escaleras mecánicas y escalinatas, antes de la llegada del próximo tren uno o dos minutos más tarde, plantea graves riesgos de seguridad. Hay dos formas de medir el desempeño en términos de circulación vertical: La relación V/C y el tiempo de despeje de colas. De manera similar a cómo se calcula la relación V/C para los torniquetes de validación de boletos, los operadores de transporte ferroviario urbano pueden recopilar datos del tráfico de pasajeros dentro de una estación durante el punto máximo de las horas pico y medir esta información en relación con la capacidad operativa práctica. Con el tiempo de despeje de colas se estima cuánto tarda un pasajero en circular a través de la pequeña zona de colas en el área de abordaje de las escaleras mecánicas y escalinatas, y se evalúa si el tiempo de despeje es menor o no que el intervalo entre trenes. En el caso de los diseños de estaciones con andenes centrales, el tiempo de despeje, para ser seguro, debe ser menor que los intervalos entre trenes combinados en ambas direcciones.

- *Andenes.* Los andenes son la zona de circulación más dinámica dentro de la estación, con una presencia constante de pasajeros que esperan trenes y circulan a lo largo de pasillos estrechos. Estas mezclas de flujos de pasajeros son interrumpidas por las diferentes estructuras del andén: escaleras mecánicas, escalinatas, torres de alta tensión, paneles, asientos y cestos de basura. Las grandes oleadas de pasajeros o los atascos repentinos pueden dar lugar a situaciones inseguras. El diseño inicial de las estaciones debe contemplar y mitigar estas situaciones. El desempeño del andén puede expresarse por medio de la densidad de pasajeros (pies o metros cuadrados por persona),

GRÁFICO 13.3. Densidad de pasajeros en andén: Union Station de la WMATA, Washington, DC



Fuente: Departamento de Planificación y Desarrollo Conjunto de la WMATA, 2011.
Nota: Las zonas en naranja o rojo (nivel de servicio E y F) indican un agolpamiento considerable de personas, que se produce en las puertas de los trenes y en las cercanías de las escaleras mecánicas y escalinatas. WMATA = Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington.

con la cual se calcula el espacio accesible entorno a una persona utilizando el concepto de nivel de servicio de carreteras (véase el gráfico 13.3). Todas las áreas ocupadas por estructuras deben excluirse del cálculo del nivel de servicio.

Determinación de la frecuencia de presentación de informes

Una vez que se han establecido los indicadores pertinentes de desempeño de la línea y de la estación y se han implementado los métodos de recopilación de datos correspondientes, es importante determinar la frecuencia con la que se analizarán los indicadores de desempeño operativo y se presentarán informes acerca de ellos. Incluso cuando los datos se encuentran disponibles inmediatamente y en tiempo real, al personal puede llevarle un tiempo considerable analizar y sintetizar las tendencias significativas. Por ende, es importante ponderar los recursos necesarios para medir los datos de desempeño operativo y de otro tipo y elaborar los informes correspondientes, en relación con las posibilidades de uso de la información actualizada. Muchos operadores de transporte ferroviario urbano establecen diferencias entre los calendarios de presentación de informes: algunas medidas de desempeño se publican mensualmente, mientras que otras que requieren un proceso de análisis más exhaustivo se publican regularmente, pero con menor frecuencia.

Al determinar la frecuencia de la presentación de informes, es importante contemplar la capacidad institucional del operador de transporte ferroviario urbano. Para establecer un sistema eficaz y continuo, se prioriza la adquisición de las aptitudes y los conocimientos necesarios para la elaboración de informes

de desempeño. El personal del operador debe ser capaz de comprender operaciones complejas, interacciones entre infraestructura y operaciones, exploración de datos y comunicación estratégica. Además, dentro del operador, la propiedad de los datos a menudo se reparte entre diferentes funciones y unidades, incluidos el departamento de tecnología de la información, el centro de control de operaciones ferroviarias y el departamento de mantenimiento. La capacidad de coordinación y colaboración dentro de un organismo es otro aspecto importante que debe considerarse al recopilar datos y programar la presentación de informes.

Síntesis y comunicación eficaz de resultados

Por último, pero quizás más importante que los puntos anteriores, los operadores de transporte ferroviario urbano deben describir de manera sucinta los resultados del seguimiento del desempeño de la operación realizado a una audiencia diversa, conformada por socios en el financiamiento, políticos, empresas, clientes y comunidades locales. Comunicar el desempeño de las operaciones diarias a través de indicadores y tendencias simples y fáciles de entender permite informar al operador de transporte ferroviario urbano y al público acerca de la calidad y el nivel de los servicios prestados, el nivel de correspondencia entre el servicio y la demanda. En última instancia, qué tan eficazmente el operador satisface las expectativas de los clientes. También contribuye a la evaluación de los cambios en las operaciones, permite mejorar la rendición de cuentas y la transparencia del organismo, y ayuda a identificar deficiencias en el mercado y el diseño del sistema. Si bien deben elaborarse informes técnicos detallados para orientar la planificación interna de los servicios de operación, también es necesario que los resultados técnicos se sinteticen y se presenten gráficamente para destacar tendencias importantes ante las partes interesadas externas con un menor nivel técnico.

Gestión de activos

En comparación con otras modalidades de transporte público, los sistemas ferroviarios urbanos son los que mayor nivel de inversión precisan para alcanzar la máxima capacidad potencial. Una vez implementada, esta inversión requiere de un mantenimiento y una gestión disciplinados año tras año, con un compromiso a largo plazo respecto de la preservación de los activos y la prestación de servicios seguros y fiables en los años venideros. La gestión de activos debe ser proactiva y planificarse e implementarse tan pronto como se construya el sistema; esperar hasta que el sistema caiga en un estado de obsolescencia

tecnológica o hasta que los activos alcancen el final de su vida útil suele ser demasiado tarde, ya que los activos generalmente se deterioran antes de llegar a ese punto y esto encarece su reconstrucción o sustitución. Los activos antiguos y con una inversión insuficiente ponen en riesgo la fiabilidad y la seguridad del sistema porque aumentan la probabilidad de averías en los vagones durante el servicio comercial, de mal funcionamiento de los controles y las señales de los trenes, y de fallas en las comunicaciones, los equipos y las instalaciones.

Necesidades y proceso en la gestión de activos

Para los sistemas ferroviarios urbanos de muchos países de ingreso alto, y también de ingreso bajo y medio, la gestión de activos es una nueva forma de hacer negocios, y su definición significa cosas diferentes para los distintos organismos. La Administración Federal de Transporte de los Estados Unidos define la gestión de activos como "la práctica estratégica y sistemática de adquirir, operar, inspeccionar, mantener, rehabilitar y sustituir activos de capital de transporte para gestionar su desempeño, sus riesgos y sus costos a lo largo de su vida útil con el fin de brindar un servicio de transporte público seguro, rentable y fiable" (*TAM News*, 2016, 1).

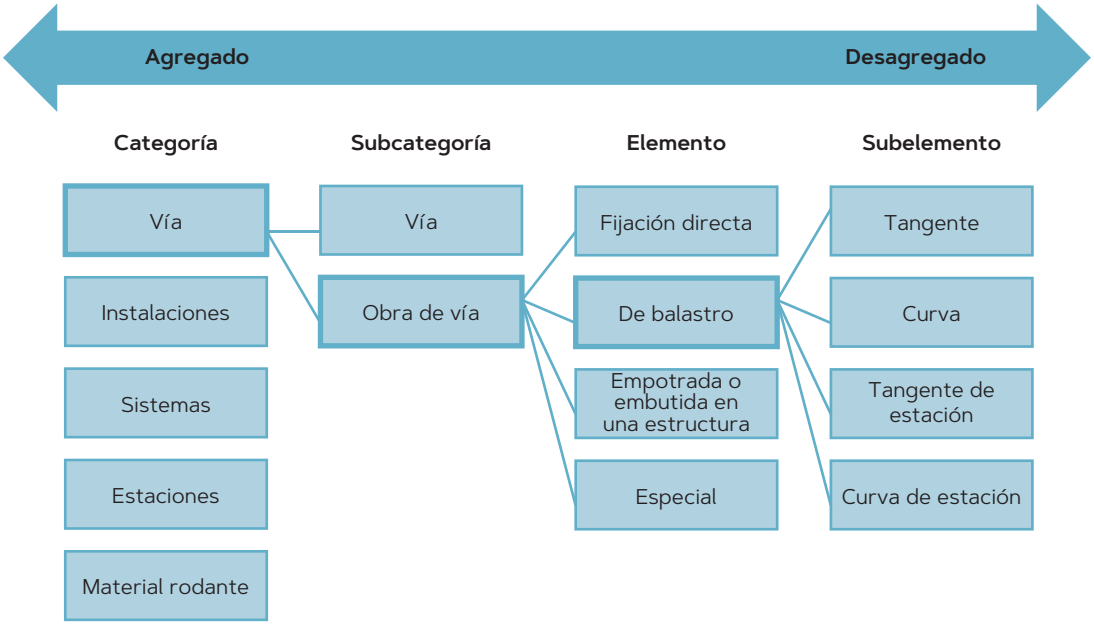
La gestión de activos es un proceso holístico que va más allá del mantenimiento regular. Cada sistema ferroviario urbano debe identificar y formular un proceso de gestión de activos que sea compatible con sus activos, su mecanismo de financiamiento de capital y sus procesos de toma de decisiones.

Inventario de activos

El inventario es la base de la gestión de activos. Para los sistemas ferroviarios urbanos, crear un inventario significa dar cuenta de la totalidad de los activos o grupos de activos ferroviarios. Definir debidamente grupos jerárquicos de activos debe ser uno de los primeros pasos en la creación del inventario (véase el gráfico 13.4). Dentro del orden jerárquico, deben definirse grupos de activos de manera integral a fin de cubrir y clasificar todos los activos y evitar duplicidades. Por consiguiente, las categorías del orden jerárquico deben ser mutuamente excluyentes.

Una vez que se establece el orden jerárquico, el organismo de transporte ferroviario urbano debe definir los atributos de datos que se registrarán en relación con cada activo. Los atributos más importantes son la antigüedad, la vida útil, la cantidad, la ubicación, las rehabilitaciones previas, las fechas de las inspecciones más recientes y las próximas inspecciones programadas, el estado según la inspección física, el kilometraje en el caso del material rodante o la superficie en el caso de las instalaciones o la extensión en el caso de las vías, y los costos de sustitución y rehabilitación. Estas características

GRÁFICO 13.4. Ejemplo de un sistema jerárquico de activos en cuatro niveles para el transporte ferroviario urbano



Fuente: Adaptado de CH2M Hill, 2013.

permiten priorizar las necesidades de activos y elaborar proyectos para mejorarlos.

Idealmente, el inventario se aloja en una base de datos segura a la que pueden acceder los propietarios autorizados de los activos a los fines de su actualización y seguimiento. Sin embargo, es prácticamente imposible contar con una base de datos central semejante para todos los activos. En la práctica, cada activo principal cuenta con su propio software de datos diseñado para contener un historial sumamente detallado del activo y su registro de mantenimiento. Se recomienda que una entidad designada perteneciente al operador se encargue de crear y actualizar el inventario de activos.

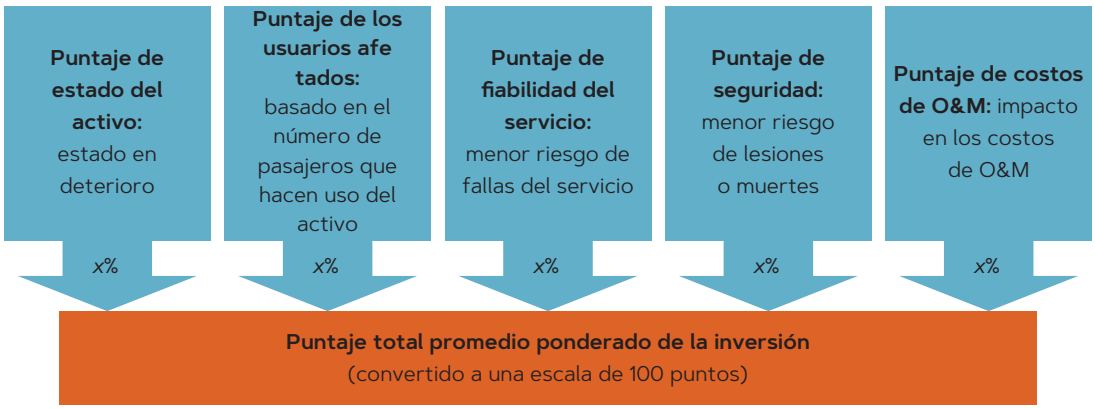
Priorización de las necesidades de activos

Los sistemas ferroviarios urbanos requieren un financiamiento de capital considerable para el mantenimiento y la preservación del estado de los activos. En los casos en que los recursos son limitados, estos fondos deben asignarse a los activos que necesiten reparación, rehabilitación o sustitución con mayor urgencia. Incluso en los nuevos sistemas ferroviarios urbanos, es habitual ver cómo parte de los activos se deterioran o se vuelven obsoletos más

rápido que lo previsto debido al desgaste ocasionado por el uso intensivo, condiciones ambientales como la humedad o las filtraciones de agua, o los avances tecnológicos. Por ejemplo, la filtración de agua en los túneles subterráneos puede acortar la vida útil de los aislantes de 10 años a menos de 4 años (WMATA, 2017). Por ende, una vez elaborado el inventario, es indispensable que el organismo realice una priorización de las necesidades de activos. En la priorización se identifican los activos que necesitan urgentemente una intervención de capital, se prevé el deterioro y los cambios en su estado a corto plazo y se estiman los requerimientos anuales de fondos para los próximos 1 a 5 años.

La priorización debe basarse en el estado de los activos y en otros criterios que estén en consonancia con los objetivos estratégicos del operador de transporte ferroviario urbano, como el impacto en el número de pasajeros, la seguridad o la calidad del servicio. Es necesario que los criterios de priorización sean cuantificables con datos confiables generados desde el sistema ferroviario urbano. Luego, el operador elabora ponderaciones para cada criterio, genera consenso en torno a esas ponderaciones entre otras partes interesadas pertinentes del sistema y formula un puntaje general que permita clasificar los activos en función de sus necesidades y del beneficio que conlleva la mitigación de su deterioro (véase el gráfico 13.5). Si bien a corto plazo es necesaria una priorización de los activos, esta debe complementarse con una estrategia de gestión fiscal a largo plazo que proporcione los recursos para mantener todos los activos en buen estado de conservación.

GRÁFICO 13.5. Priorización de activos mediante el uso de varios criterios



Fuente: Adaptado de CH2M Hill, 2013.
Nota: O&M = operación y mantenimiento.

Gestión del mantenimiento

Con la gestión de activos se establece un proceso institucional en todo el organismo para la generación de datos sobre los activos, el seguimiento de su estado, y la renovación y reinversión de programas y fondos en activos a nivel estratégico. A diferencia de lo que ocurre en la gestión de activos, en la gestión del mantenimiento se ejecutan acciones de capital a un nivel básico y con una frecuencia diaria con el objetivo de preservar el buen estado de conservación de la infraestructura, el material rodante y los sistemas relacionados involucrados en la prestación de los servicios.

Tipos de enfoques de mantenimiento

En esta sección, se destacan tres tipos de enfoques de mantenimiento: el correctivo basado en la reparación, el preventivo y el predictivo. En el cuadro 13.1 se define cada uno de estos enfoques y se enumeran sus ventajas y desventajas. Para cualquier sistema ferroviario urbano con la excepción de algunos equipos de corta duración, es necesario un mantenimiento preventivo o predictivo más sofisticado para impedir la interrupción o el deterioro del servicio debido a una falla en los activos. El mantenimiento preventivo constituye la base del mantenimiento, e incluye tareas de inspección y conservación progresivas programadas para cumplir con los requisitos reglamentarios y de inspección. Independientemente de lo bien que un organismo ejecute el mantenimiento preventivo, igualmente se producirán averías imprevistas en los activos, tanto en los antiguos como en los nuevos. El mantenimiento predictivo soluciona problemas y mitiga averías de manera proactiva.

El tipo de enfoque de mantenimiento empleado por el sistema ferroviario urbano debe estar acorde a las capacidades y los recursos técnicos y gerenciales del operador del sistema y puede variar según los diferentes tipos de activos (por ejemplo, el material rodante en contraposición con los equipos de iluminación en las estaciones). Actualmente, el enfoque de mantenimiento más utilizado entre los sistemas avanzados de transporte ferroviario urbano es el mantenimiento preventivo basado en suposiciones relativas al ciclo de vida de los componentes de los activos (véase el recuadro 13.3).

En resumen, los enfoques de mantenimiento sólidos permiten aumentar la fiabilidad del servicio, reducir los costos de O&M y reforzar la confianza de las autoridades gubernamentales, las comunidades y otras partes interesadas en el operador y los servicios que ofrece. Si bien los sistemas ferroviarios urbanos del mundo emplean prácticas sólidas, todavía existen impedimentos que atentan contra la creación de enfoques de mantenimiento eficaces. La falta de fondos, de incentivos y de gestión, la inflexibilidad de las normas, la aversión al riesgo por parte de los dirigentes, la falta de datos sobre los activos, las tecnologías poco

CUADRO 13.1. Evolución de los enfoques de mantenimiento

PROPÓSITO	ENFOQUE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Correctivo (basado en la reparación)	Mantenimiento correctivo: el activo se usa hasta que falla; se repara solo cuando se rompe.	• Bajos costos de mantenimiento a corto plazo. • Mayores intervalos entre revisiones de mantenimiento. • Puede resultar adecuado para algunos equipos eléctricos y mecánicos de corta duración (por ejemplo, bombillas).	• Puede ser ineficiente. • Averías imprevistas: mayor frecuencia de fallas en trenes o activos indispensables para el funcionamiento del sistema con posibles mayores impactos en el sistema, como demoras. • Mantenimiento no planificado. • Mayores costos totales durante el ciclo de vida. • Tensión y desgaste en otros componentes.
Preventivo	Mantenimiento basado en reglas (plan fijo): diagnóstico e inspecciones basados en intervalos y mantenimiento y renovación basados en el uso y en función del tiempo o la distancia.	• Menores costos totales durante el ciclo de vida. • Mayor eficiencia y eficacia de las tareas de mantenimiento. • Mayores niveles de uso y disponibilidad de la flota.	• Mayores costos de mantenimiento a corto plazo. • Mayores recursos de mano de obra. • Mayor frecuencia de las revisiones de mantenimiento. • Tiende a centrarse en un único producto (apunta a una mejora o eficiencia específica).
Predictivo (proactivo)	Mantenimiento basado en el estado: seguimiento de diagnóstico de los activos en tiempo real.	• Apunta a varios resultados y compensa los objetivos; probablemente el más eficiente desde la perspectiva de la red en su conjunto. • Mayor fiabilidad y disponibilidad del material rodante y otros activos indispensables para el servicio; menos interrupciones del servicio. • Permite optimizar los cronogramas de mantenimiento. • Permite evitar tareas de mantenimiento innecesarias debido a frecuencias de mantenimiento extendidas basadas en el estado. • Permite aumentar la eficacia en función de los costos a largo plazo. • Permite adaptar las intervenciones de mantenimiento a los requerimientos específicos justo antes de que se tornen necesarias.	• Requiere de una rigurosa recopilación de datos, lo que supone costos adicionales en concepto de sensores y equipos de seguimiento. • Requiere de personal específico y un nivel avanzado de capacitación y aptitudes. • Depende de la implementación de plataformas tecnológicas más sofisticadas. • Inercia organizativa difícil de superar; requiere de un liderazgo sólido que cuestione la eficacia de las prácticas actuales.

Fuente: Adaptado de Parasram y otros, 2012.

RECUADRO 13.3.

Gestión del mantenimiento durante todo el ciclo de vida

La gestión del mantenimiento durante todo el ciclo de vida es el enfoque de mantenimiento preventivo y basado en reglas más frecuentemente aplicado en los sistemas ferroviarios urbanos actuales. La gestión del mantenimiento durante todo el ciclo de vida permite a los sistemas ferroviarios urbanos concentrar las inspecciones de rutina y las tareas de mantenimiento en los activos que se encuentran más próximos a un punto de falla previsto. La gestión del mantenimiento durante todo el ciclo de vida requiere que los sistemas ferroviarios urbanos formulen suposiciones sobre la vida útil de cada tipo de activo incluido en el inventario y que especifiquen la frecuencia de las rehabilitaciones necesarias para cada uno de ellos (véase el cuadro B13.3.1). Cuando se incorporan al mantenimiento consideraciones relativas al ciclo de vida, los sistemas ferroviarios urbanos adquieren una posición financiera más sólida para la gestión de los costos de O&M y para la preservación de la calidad del servicio al evitar averías e interrupciones.

CUADRO B13.3.1. Ejemplo de suposiciones importantes relativas a la vida útil para activos seleccionados de sistemas ferroviarios urbanos

CATEGORÍA DEL ACTIVO	SUBCATEGORÍA DEL ACTIVO	ELEMENTO DEL ACTIVO	VIDA ÚTIL (AÑOS)	NÚMERO DE REHABILITACIONES
Vía	Estructura de vía[a]		80	0
	Vía con balastro	Tangente	40	0
		Curva	25	0
	Cruces incrustados a nivel		12–20	0
	Durmientes de madera		28-32	0
Instalaciones	Talleres de mantenimiento de coches		60	5
	Patios de maniobras ferroviarias		50	1
	Equipos de trabajo		20	0
Sistemas[b]	Servicios públicos subterráneos	Iluminación	20	0
		Bombas	30	0
		Maquinaria de ventilación	25	0
	Comunicaciones	Radio	15	0
		Cable (nodos)	20 (10)	0 (0)
		Teléfono	10	0
	Seguridad y vigilancia		5-10	0

(El cuadro continúa en la página siguiente).

(El recuadro continúa en la página siguiente).

RECUADRO 13.3.

Gestión del mantenimiento durante todo el ciclo de vida *(Continuación)*

CUADRO B13.3.1. Ejemplo de suposiciones importantes relativas a la vida útil para activos seleccionados de sistemas ferroviarios urbanos *(Continuación)*

CATEGORÍA DEL ACTIVO	SUBCATEGORÍA DEL ACTIVO	ELEMENTO DEL ACTIVO	VIDA ÚTIL (AÑOS)	NÚMERO DE REHABILITACIONES
	Control de trenes	Señalización en cabina de metro	25	0
		Señales de borde de camino y paradas de trenes	40	0
		Cruces de calzada	25	0
		Interconexión	40	0
	Validación de boletos	Máquinasvalidadoras a bordo	10	0
		En la estación	10-15	0
		Sistema de tarjeta de viaje universal	15	0
Electrificación	Potencia de tracción de la vía de circulación	Riel de contacto	40	0
		Tendido de catenaria	40	0
	Subestaciones		25-30	0
Estaciones	Estaciones[a]		60	5
	Estacionamiento en la estación	Cochera	20	1
		Lote	10	0
Vehículos de uso comercial	Tren suburbano	Locomotoras	30	1
		Vagones de pasajeros	50	1
		Unidades múltiples eléctricas (UME)	35-30	1
	Coches de metro		25	3

Fuente: Datos de RTA, 2016.
a. A nivel, elevadas o subterráneas.
b. Otros sistemas, como los sistemas de comunicación e información para pasajeros, tienen una vida útil corta o requieren actualizaciones permanentes porque se tornan obsoletos con rapidez.

fiables y la falta de personal e instalaciones adecuados plantean desafíos para una gestión de mantenimiento efectiva. Por ende, más allá del enfoque de mantenimiento empleado, para el funcionamiento sostenible del sistema, es fundamental que todas las partes interesadas reconozcan con convicción que el mantenimiento es importante y amerita recursos exclusivos.

Es necesario determinar las funciones y responsabilidades de mantenimiento relacionadas con la operación del sistema desde el inicio del proyecto. Hay una

gran variedad de mecanismos de mantenimiento entre la internalización y centralización absoluta, donde se emplea al personal propio del operador y una externalización completa, donde se subcontratan empresas especializadas, con pagos por disponibilidad, calidad y otros indicadores de desempeño. Si están debidamente estructuradas, las APP integradas verticalmente—en las cuales se le otorga a una empresa privada la responsabilidad respecto de la ejecución e integración de todos los componentes del proyecto y respecto de la O&M del sistema a lo largo de un período prolongado—pueden ofrecer incentivos para la gestión del mantenimiento a lo largo de todo el ciclo de vida. Para capitalizar la posible ventaja que ofrece una APP, las autoridades otorgantes deben elaborar protocolos o requisitos de mantenimiento y establecer los indicadores de desempeño relacionados en el contrato. Estos indicadores de desempeño deben someterse a un seguimiento adecuado e incorporarse como parte del mecanismo de pago (véanse los capítulos 9 y 10). Asimismo, en los acuerdos de APP deben establecerse condiciones claras en virtud de las cuales los activos (y los datos conexos sobre su estado y mantenimiento previo) deben regresar a manos del Gobierno al final del contrato.

En la práctica actual, los mecanismos intermedios en los cuales el mantenimiento básico (por kilómetro o por unidad de tiempo) es llevado a cabo por el personal propio del operador, y el mantenimiento de capital y las revisiones de los activos más avanzadas y a más largo plazo son realizados por empresas especializadas (a veces incluso el contratista de construcción original del sistema) han demostrado ser los más eficientes (Banco Mundial, 2017).

Personal e instalaciones

Para garantizar enfoques de mantenimiento eficaces, los operadores de transporte ferroviario urbano deben desarrollar su capacidad de mantenimiento desde el comienzo y consolidarla con el tiempo. Debido a la complejidad de los componentes de los activos ferroviarios y a la intrincada interacción entre ellos, las cuadrillas de mantenimiento deben contar con una amplia experiencia práctica y con conocimientos especializados de ingeniería eléctrica, mecánica, estructural y otras áreas. Para las ciudades en desarrollo que emprenden un proyecto ferroviario urbano por primera vez, establecer programas de capacitación y pasantías técnicas desde las primeras instancias del proyecto puede contribuir a dotar a la fuerza laboral local de las aptitudes necesarias para llevar adelante la operación y el mantenimiento del sistema ferroviario urbano desde el inicio del servicio comercial (véase el capítulo 4).

Además de personal capaz y adecuado para las cuadrillas de mantenimiento, los sistemas ferroviarios urbanos requieren instalaciones adecuadas en las cuales realizar las tareas de mantenimiento habituales. Los patios de maniobras, estratégicamente ubicados en la red, funcionan como mucho más que espacios

IMAGEN 13.2. Locomotora en reparación en un centro de mantenimiento del tren metropolitano: MBTA, Boston, Massachusetts

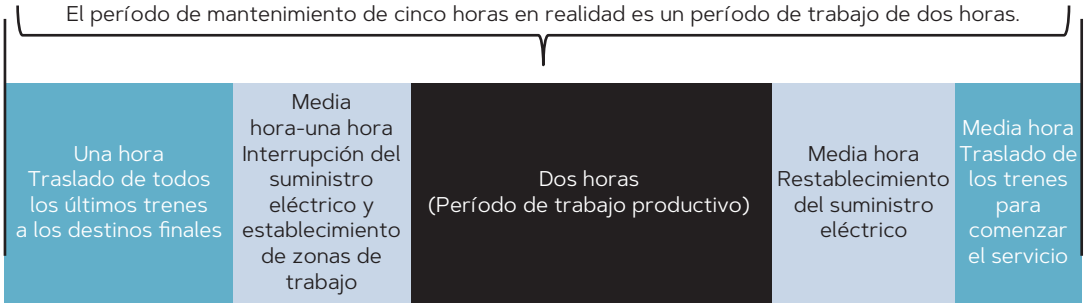
Fuente: Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

de oficinas y depósitos para la flota. Dentro de los patios de maniobras, las cuadrillas realizan tareas de mantenimiento críticas como limpieza y lavado de los coches, mantenimiento de rutina y reparaciones menores, y reparaciones y grandes revisiones (véase la imagen 13.2). Cada patio de maniobras debe estar equipado con equipos de mantenimiento especializados y estructuras, hardware y software indispensables para detectar deficiencias y realizar reparaciones.

Períodos exclusivos de mantenimiento

Independientemente del enfoque adoptado, es fundamental contar con períodos exclusivos para la inspección y el mantenimiento del sistema. Pese a que hay algunos ejemplos de sistemas que prestan su servicio de transporte ferroviario hasta altas horas de la noche o durante toda la noche, la mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos han determinado que contar todos los días con un período exclusivo de mantenimiento durante la noche es esencial para

GRÁFICO 13.6. Uso de un período nocturno de mantenimiento de cinco horas



prestar un servicio seguro y fiable. Estos períodos nocturnos deben extenderse durante el tiempo necesario para permitir el traslado de los trenes de pasajeros, trenes de trabajo y equipos de mantenimiento hacia y desde los depósitos y lugares de trabajo del sistema y para interrumpir y restablecer el suministro eléctrico del sistema (véase el gráfico 13.6).

Estos períodos de mantenimiento nocturnos son fundamentales para el mantenimiento preventivo, y permite a los trabajadores detectar y reparar componentes defectuosos o con problemas. Estas tareas ayudan a prevenir la mayor parte de los problemas en las vías y disminuir los riesgos de descarrilamiento, y constituyen la piedra angular de un servicio diario seguro y fiable. En el caso de los proyectos de renovación de bienes de capital y gestión de activos de mayor envergadura, es posible que los sistemas deban retirar de funcionamiento tramos de vías durante todo un fin de semana o más tiempo.

Gestión fiscal

La gestión fiscal es el quinto pilar de las operaciones de transporte ferroviario urbano sostenibles. La gestión fiscal requiere lograr el equilibrio entre dos flujos de efectivo clave: los ingresos que percibe el sistema y los costos de O&M derivados de la operación, el mantenimiento y la modernización del sistema. Dicho de otro modo, para garantizar la estabilidad financiera del sistema es necesaria una gestión adecuada de los gastos y los ingresos, al igual que en la gran mayoría de las empresas. Esta estabilidad financiera permite a los sistemas ferroviarios urbanos operar y mantener un servicio de alta calidad y planificar costos de ampliación futuros.

La planificación de la gestión fiscal se lleva adelante a través de la elaboración de un presupuesto anual, pronósticos a corto plazo y proyecciones a largo plazo:

- *Presupuesto anual.* El presupuesto operativo brinda especificaciones detalladas sobre la prestación del servicio, requisitos de la fuerza laboral, costos de

mano de obra, seguros y desgloses departamentales. El presupuesto anual de capital asegura la existencia de fondos para proyectos y medidas relacionadas con el capital, desde el mantenimiento y la preservación de los activos existentes hasta la elaboración de nuevos proyectos y ampliaciones.

- *Pronósticos financieros a corto plazo.* Los pronósticos financieros a corto plazo permiten realizar proyecciones financieras. Para muchos activos y medidas relacionadas con el capital, el proceso desde la planificación y el diseño hasta las adquisiciones y la construcción demora varios años. Los pronósticos a corto plazo permiten a los operadores de transporte ferroviario urbano estimar los costos de mano de obra y del proyecto de capital a lo largo de un plazo comparable y preparar las solicitudes de fondos correspondientes.
- *Proyecciones de planificación a largo plazo.* La tendencia a largo plazo, en el orden de los 15 a los 20 años, es indispensable porque mantiene informadas a las partes interesadas sobre las principales inversiones y servicios en trámite y alienta el apoyo tanto político como financiero para estas iniciativas.

Se otorga máxima prioridad a la preparación del presupuesto anual para comprometer y programar la disponibilidad de fondos para la operación, la prestación de los servicios y las necesidades prioritarias de capital (vinculadas a la gestión de activos y del mantenimiento) en el próximo año. Algunos organismos incluyen el pronóstico de capital a corto plazo en el presupuesto anual de capital en reconocimiento de la naturaleza plurianual de la ejecución de capital. Los gastos de capital se desglosan en categorías o subcategorías de activos (véase el recuadro 13.4). En algunos casos, los organismos incluyen descripciones detalladas de los activos.

RECUADRO 13.4.

Ejemplo de programa de mejoras de capital y presupuestos de gastos de operación: Autoridad de Tránsito de Chicago

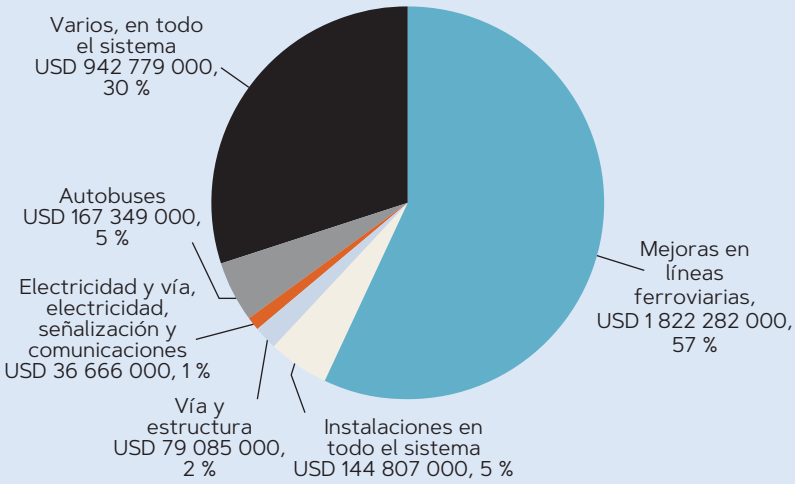
La Autoridad de Tránsito de Chicago (CTA) brinda desgloses claros de las mejoras de capital y renovaciones de activos plurianuales por categoría (véase el gráfico B13.4.1). Incluye desgloses de costos separados para los gastos de operación anuales, de los cuales la gran mayoría corresponde a mano de obra (véase el gráfico B13.4.2). En los sistemas ferroviarios urbanos típicos de los países de ingreso bajo y medio, la proporción de los costos de mano de obra puede ser un poco menor que la que se indica para Chicago, mientras que los costos de electricidad y combustible y de los equipos importados de países extranjeros pueden ser mayores (véase el gráfico 13.4, donde se incluye un ejemplo).

(El recuadro continúa en la página siguiente).

RECUADRO 13.4.

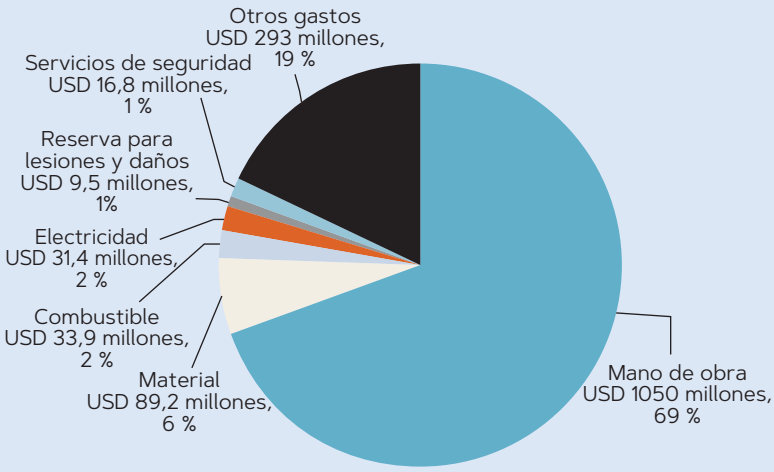
Ejemplo de programa de mejoras de capital y presupuestos de gastos de operación: Autoridad de Tránsito de Chicago *(Continuación)*

GRÁFICO B13.4.1. Ejemplo de gastos asignados para el programa de mejoras de capital, por categoría de activo, 2017-21



Fuente: Datos de CTA, 2016, 56.

GRÁFICO B13.4.2. Ejemplo de un presupuesto de gastos de operación, 2017



Fuente: Datos de CTA, 2016, 33.

Costos ordinarios

Los costos ordinarios abarcan todos los costos necesarios para la operación, el mantenimiento y la renovación de la infraestructura, el material rodante y los sistemas una vez que se los construye y comienzan a funcionar. En la mayoría de los países, los contadores marcan un límite bastante claro entre los costos de capital y los costos de operación ordinarios. No obstante, en los sistemas ferroviarios urbanos, este límite a menudo se desdibuja porque el intervalo entre las intervenciones periódicas de mantenimiento y reinversión para muchas obras civiles de gran envergadura se mide en años y, a veces, en décadas, lo cual dificulta su incorporación en un presupuesto operativo ordinario anual. Por lo tanto, el mantenimiento de capital y la renovación o la sustitución de activos generalmente se financian a través del presupuesto de capital, si acaso. A pesar de esta práctica contable, estos aspectos representan costos continuos considerables para mantener el sistema en buen estado de conservación y deben contemplarse en todas las estimaciones de costos ordinarios [3].

Para tener un panorama completo de los costos ordinarios, el organismo de ejecución del proyecto debe considerar sumas contables incrementales correspondientes a mantenimientos periódicos, depreciación, pensiones y otros pasivos contingentes. También debe contemplar los gastos de operación del organismo en concepto de mano de obra, materiales, energía, servicios, impuestos para la operación y el mantenimiento de los trenes y la infraestructura, el respaldo del negocio, y las tecnologías de la información y las comunicaciones que son fundamentales para la prestación del servicio y la interacción con los clientes.

Variabilidad de los costos de operación

Los costos de operación típicos para los proyectos ferroviarios urbanos pesados varían de un sistema a otro. A nivel de la planificación, las estimaciones preliminares de costos ordinarios se basan en costos de operación unitarios que generalmente se definen en función del costo de operación por ruta-kilómetro y por pasajero transportado (véase el capítulo 5). Según el costo unitario utilizado, puede haber diferencias significativas entre los sistemas de metro y trenes metropolitanos, incluso en una misma región, debido a los diferentes niveles de oferta de servicios y demanda de los pasajeros (véase el recuadro 13.5).

Factores clave que impulsan los costos de operación

En gran medida, esta variación en los costos de operación de los sistemas es un reflejo de las diferencias en factores tales como la antigüedad de la infraestructura, los sistemas y el material rodante; la intensidad de uso; la velocidad comercial; la capacidad de la red, y otras características (véase el capítulo 5).

RECUADRO 13.5.

Diferencias entre los costos de O&M en sistemas de trenes metropolitanos y sistemas de metro: región metropolitana de la Ciudad de Nueva York

La región metropolitana de la Ciudad de Nueva York goza de los servicios de varios sistemas ferroviarios urbanos: el ferrocarril Metro-North, el ferrocarril de Long Island, los sistemas de trenes metropolitanos de la Autoridad Portuaria Trans-Hudson (PATH) de Nueva York y Nueva Jersey, y el sistema de metro de la Autoridad de Transporte de la Ciudad de Nueva York. En los sistemas de trenes metropolitanos como el PATH, los trenes individuales a menudo recorren distancias mayores, lo que contribuye a reducir los costos de operación por kilómetro. Sin embargo, estos sistemas de trenes metropolitanos suelen tener trenes más largos con un menor número de pasajeros por vagón, lo cual redunda en mayores costos de operación por pasajero. En los sistemas de metro, la tendencia se invierte (véase el cuadro B13.5.1). Los sistemas de metro, como el de la Autoridad de Transporte de la Ciudad de Nueva York, generalmente recorren distancias más cortas con altas frecuencias y un mayor número de pasajeros por vagón. Por ende, los sistemas de metro habitualmente exhiben mayores costos de operación por ruta-kilómetro, pero menores costos de operación por pasajero.

CUADRO B13.5.1. Costos de operación en los sistemas de metro de la Ciudad de Nueva York, 2014

COSTO (USD)

SISTEMA	COSTO DE OPERACIÓN POR KILÓMETRO (USD)	COSTO DE OPERACIÓN POR PASAJERO (USD)
Autoridad de Transporte de la Ciudad de Nueva York	6,44	1,83
Autoridad Portuaria Trans-Hudson (PATH) de Nueva York y Nueva Jersey	3,21	4,72

Fuente: FTA, 2014.
Nota: O&M = operación y mantenimiento.

Según investigaciones sobre los datos de las operaciones provistos por los sistemas ferroviarios urbanos pertenecientes a los grupos dedicados al establecimiento de parámetros comparativos Comunidad de Metros (CoMET) y Nova, dadas las restricciones de diseño del sistema, los costos de operación son más sensibles a los siguientes factores:

- *Intensidad de uso.* En promedio, un aumento del 10 % en los kilómetros de vagones se relaciona con una disminución de casi el 7 % en los costos de servicio del tren por kilómetro. De igual modo, un aumento del 10 % en los viajes de los

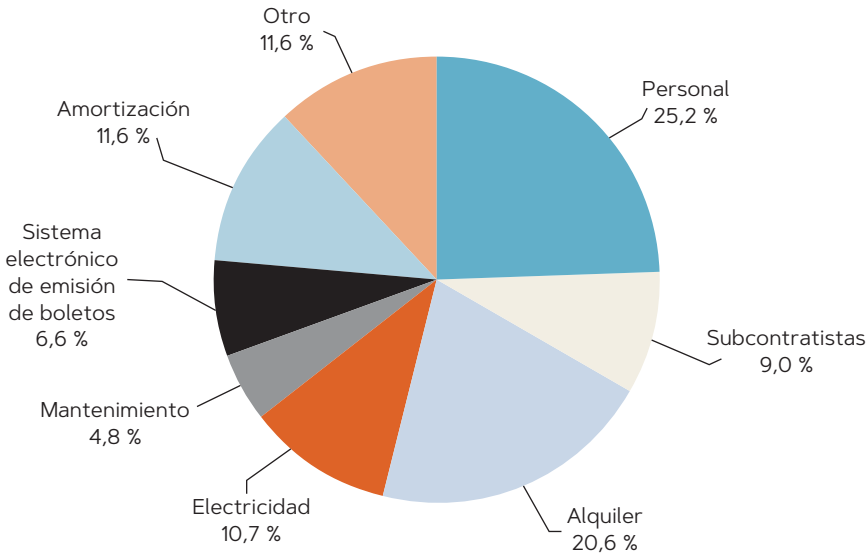
pasajeros se relaciona con una disminución del 8,1 % en los costos de servicio del tren por viaje de un pasajero (Brage-Ardao, Graham y Anderson, 2015).

- *Precios de los insumos.* En promedio, un aumento del 10 % en los salarios del personal se relaciona con un aumento promedio de casi el 5 % en los costos de servicio del tren. Por su parte, un aumento del 10 % en los costos de electricidad se relaciona con un aumento promedio del 2,1 % en los costos de servicio del tren. Por lo tanto, la mano de obra tiene un peso mayor que la electricidad a la hora de estimar los costos de operación (Brage-Ardao, Graham y Anderson, 2015).
- *Elasticidad de la demanda.* En las ciudades con sistemas de transporte público maduros donde la demanda es mayormente inelástica en relación con los boletos, la cantidad y la calidad de los servicios son factores determinantes del número de pasajeros y los ingresos tarifarios más importantes que los precios de los boletos en sí mismos (Banco Mundial y RTSC, 2017). Sin embargo, en el caso de los nuevos proyectos ferroviarios urbanos, es posible que deban establecerse boletos iniciales a fin de atraer a un número suficiente de pasajeros para cumplir con las previsiones de demanda.

Para la mayoría, si no para la totalidad, de los sistemas ferroviarios urbanos, la mano de obra constituye el principal factor determinante de los costos de operación. En los Estados Unidos, la mano de obra representa aproximadamente el 80 % de los costos de operación anuales para todos los sistemas ferroviarios pesados (FTA, 2014). Un desglose más detallado indica que, tomados en conjunto, los salarios, jornales y beneficios complementarios de los operadores de trenes son mucho menores que los costos de personal combinados correspondientes a funciones generales de los servicios ferroviarios, lo que incluye las tareas de ingeniería, planificación, mantenimiento de patios de maniobras, tecnologías de la información y administración comercial. Esto no llama la atención, ya que la operación de un sistema ferroviario urbano es un negocio de gran envergadura.

La mano de obra sigue siendo un factor determinante clave de los costos de operación de los sistemas ferroviarios urbanos en los países de ingreso bajo y medio. Sin embargo, a diferencia de lo que sucede en los Estados Unidos —donde los organismos de transporte público están, en líneas generales, exentos de impuestos a los ingresos y el costo de la electricidad y la energía es relativamente bajo—, los impuestos y los servicios públicos pueden representar factores determinantes adicionales de los costos de operación para los sistemas ferroviarios urbanos en los países de ingreso bajo y medio (véase el gráfico 13.7).

GRÁFICO 13.7. Desglose de gastos de operación en un sistema ferroviario urbano de Turquía, 2014



Fuente: Datos provistos por el operador del sistema al amparo de un convenio de anonimato.

Ingresos de operación

La dinámica financiera de los proyectos y servicios de transporte ferroviario y la manera en que se pagan están influenciadas por diferentes factores, pero el más significativo de todos es la medida en la cual los ingresos relacionados con los activos y servicios de un proyecto de transporte ferroviario cubren sus costos totales (NCRRP, 2015). Los ingresos de los sistemas ferroviarios urbanos pueden provenir de los boletos cobrados a los usuarios, de fuentes no tarifarias, de subsidios operativos o de otras fuentes de financiamiento externo, como ingresos derivados de impuestos especiales o financiamiento de Gobiernos locales, regionales, estatales o nacionales (véase el capítulo 10).

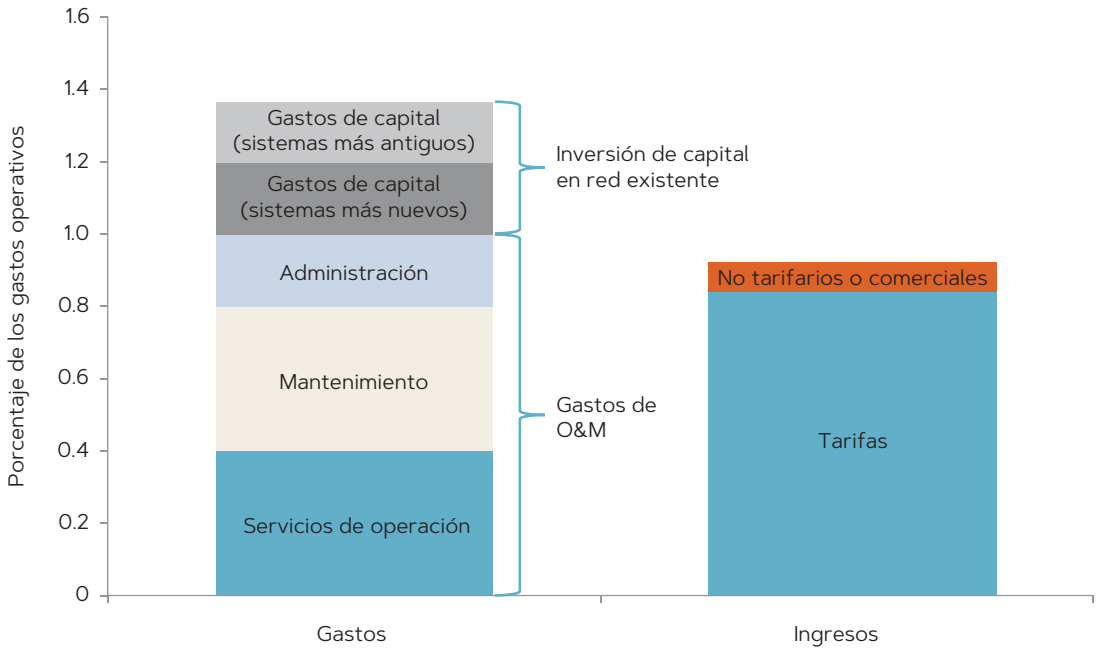
Ingresos tarifarios

Los boletos cobrados a los usuarios constituyen la principal fuente de ingresos de operación generados a partir de las inversiones en sistemas ferroviarios urbanos. La política tarifaria tiene un impacto directo en la sostenibilidad financiera del sistema ferroviario urbano y su operador (ya sea público o privado) y en el nivel de fondos externos (subsidios) necesarios para mantener el servicio, especialmente en mercados donde la competencia en la prestación de servicios está regulada o directamente no existe. No obstante, los boletos generalmente

se establecen como parte de un sistema de tránsito jerárquicamente integrado (véase el capítulo 2) regulado por una autoridad gubernamental, más que por el organismo de ejecución del proyecto o el operador (véase el capítulo 12). Por ende, es fundamental que el operador comparta sus conocimientos sobre costos de operación y necesidades de capital con esta autoridad para que las políticas tarifarias reflejen con precisión las necesidades de ingresos.

Para la mayoría de los sistemas ferroviarios urbanos del mundo, los ingresos generados por la venta de boletos no son suficientes para cubrir los gastos totales de O&M[4], y mucho menos para cubrir los gastos de capital iniciales y ordinarios (véase el gráfico 13.8). En otras palabras, una política tarifaria meticulosa no es suficiente para que un sistema ferroviario urbano logre la estabilidad financiera al cubrir los gastos de O&M y los gastos de capital ordinarios. Por lo tanto, son necesarias otras fuentes estables de ingresos, incluidos los ingresos comerciales no tarifarios y subsidios externos (véase el capítulo 10).

GRÁFICO 13.8. Datos sobre gastos e ingresos de operación totales obtenidos de los grupos dedicados al establecimiento de parámetros comparativos sobre sistemas de metro CoMET y Nova, donde se muestra la tasa de compensación de boleto (correspondientes a 1994-2009)



Fuente: Adaptado de Anderson, Findlay y Graham, 2012.
Nota: O&M = operación y mantenimiento.

Generación de ingresos no tarifarios

Los sistemas ferroviarios urbanos apuntan cada vez más a los ingresos procedentes de actividades comerciales. Habida cuenta de que hoy en día los sistemas ferroviarios urbanos comprenden alrededor de 9000 estaciones y 11 000 kilómetros de líneas ferroviarias en todo el mundo, las instalaciones y la tierra pertenecientes a estos sistemas representan un potencial comercial e inmobiliario enorme y relativamente poco explotado para sus propietarios y operadores. Las obras más recientes relacionadas con actividades comerciales generadoras de ingresos en sistemas ferroviarios urbanos se han concentrado en las economías de ingreso alto (muchas de las más lucrativas se encuentran en Asia). Sin embargo, los sistemas de países de ingreso bajo y medio también pueden beneficiarse de las innovaciones comerciales orientadas a incrementar sus ingresos no tarifarios (Banco Mundial, 2017). Los operadores y propietarios de sistemas ferroviarios urbanos pueden elegir de un paquete de posibles actividades comerciales que generan ingresos comerciales no tarifarios, como la publicidad, el alquiler de espacios para uso comercial, la venta de derechos de nombre, la venta de mercaderías, y la venta de tecnología y servicios de consultoría (véase el capítulo 10), así como la recuperación del valor del suelo y el desarrollo inmobiliario (véase el capítulo 16).

Subsidios externos

Los sistemas ferroviarios urbanos requieren de financiamiento externo (subsidios) porque muchos de los grupos que se benefician de las inversiones en este sector no son los que pagan los boletos: otros usuarios viales y la comunidad en su conjunto (Ardila-Gómez y Ortegón-Sánchez, 2016). Desde una perspectiva político-económica, estos subsidios son justificables porque el transporte público normalmente genera más beneficios que costos. Esto se debe a que, gracias a su capacidad, el transporte público puede transportar grandes volúmenes de pasajeros eficientemente en comparación con otras inversiones en las que se prioriza el uso de vehículos particulares. Los subsidios que permiten mantener bajo el precio de los boletos pueden alentar el cambio de los vehículos particulares por el transporte público, lo que favorece el alivio de la congestión de tránsito y reduce los accidentes y demás externalidades sociales o ambientales. En el caso de los metros de CoMET y Nova, un sistema promedio requiere un subsidio de los costos de operación del 9 %para cubrir el déficit de sus ingresos comerciales, y el subsidio operativo puede representar hasta el 68 % de los ingresos de operación totales del metro (Anderson, Findlay y Graham, 2012). La provisión de fondos y financiamiento para satisfacer las necesidades ordinarias de los sistemas ferroviarios urbanos hace necesaria la consideración de una amplia variedad de instrumentos que van más allá de los ingresos tarifarios (véase el capítulo 10).

En resumen, si bien la gestión fiscal de los ingresos y los costos de O&M es necesaria para la sostenibilidad de las operaciones del transporte ferroviario urbano, la mayoría de los sistemas también necesitan contar con un apoyo institucional y financiero que proporcione fondos externos permanentes y que le brinde al operador de transporte ferroviario urbano autonomía y flexibilidad para recaudar los ingresos y gestionar los gastos.

Conclusiones y recomendaciones

Las decisiones que se toman durante la planificación y el diseño afectan la sostenibilidad operativa. Las características de la operación y los niveles de servicio de cualquier sistema ferroviario urbano dependen fuertemente de los atributos del diseño y de las capacidades de la infraestructura, los sistemas y el material rodante (véase el capítulo 5). El diseño del sistema debe adoptar una perspectiva a largo plazo centrada en la operación que permita maximizar el uso de la capacidad desarrollada, brinde flexibilidad y eficiencia a las operaciones, se adapte al crecimiento futuro de la demanda y reduzca la congestión en la red. Por ejemplo, el costo marginal de operación de transportar a un pasajero se reduce a medida que aumenta el número total de pasajeros dentro de los límites típicos del diseño.

El seguimiento del desempeño y el establecimiento de parámetros comparativos de la operación son esenciales para mejorar el servicio y para transmitir confianza a las autoridades gubernamentales y los pasajeros. Es importante que los operadores de transporte ferroviario urbano, los socios en el financiamiento, las instituciones de supervisión y los clientes realicen un seguimiento del desempeño de las operaciones reales respecto de las planificadas. El seguimiento del desempeño y la elaboración de los informes correspondientes pueden ayudar a evaluar el nivel y la calidad de los servicios prestados, las deficiencias en la operación y la infraestructura y las posibles oportunidades de mejora en los planes actuales de servicios de operación. Muchos sistemas ferroviarios urbanos pertenecen a un grupo internacional dedicado al establecimiento de parámetros comparativos —como CoMET o Nova—, donde comparten datos de desempeño anonimizados y mejores prácticas y aprenden unos de otros.

El mantenimiento regular y la gestión de activos son fundamentales para garantizar la fiabilidad, la seguridad y la viabilidad a largo plazo del sistema ferroviario urbano. Tan pronto como se termina de construir la infraestructura inicial y se da inicio a la operación, la atención del operador debe pasar a centrarse en la gestión de activos y en los enfoques de mantenimiento a fin de asegurar que la infraestructura, los sistemas y el material rodante se mantengan

en buen estado de conservación. Una vez perdido, restablecer el buen estado de conservación resulta muy costoso y conlleva demasiadas complicaciones. Cualquier enfoque de mantenimiento requiere de personal, instalaciones y equipos adecuados, además de períodos exclusivos para realizar las tareas diarias de inspección y conservación necesarias para prestar servicios seguros y cómodos. En la gestión de activos se establece un proceso estratégico para que los sistemas ferroviarios urbanos creen un inventario de las necesidades de reinversión de los activos que permita su seguimiento y su financiamiento.

Una gestión fiscal responsable y transparente permite que los sistemas ferroviarios urbanos programen anualmente el financiamiento de la O&M y la renovación de bienes de capital, y garantiza el proceso plurianual de implementación de capital. El transporte ferroviario urbano es un proyecto de inversión de capital que no tiene fin (Banco Mundial y RTSC, 2017). Los activos envejecen y es necesaria su renovación y mantenimiento para garantizar su buen estado de conservación. La reinversión para renovar y mejorar la infraestructura del transporte ferroviario urbano es necesaria para brindar un mejor servicio. Al desglosar los gastos de O&M y capital en categorías funcionales y compartir la información fiscal con las autoridades gubernamentales y el público, los sistemas ferroviarios urbanos mejoran su rendición de cuentas y su credibilidad en la gestión de fondos públicos. Esto, a su vez, contribuye a obtener subsidios plurianuales estables para la mejora del sistema a largo plazo.

Las buenas prácticas de gestión fiscal deben complementarse con sistemas y políticas tarifarias que permitan generar los ingresos de operación necesarios para cubrir los costos ordinarios de O&M de los sistemas ferroviarios urbanos. La experiencia internacional demuestra que existe un margen de mejora considerable en las políticas tarifarias (véase el capítulo 2) y los ingresos no tarifarios (véase el capítulo 10) para asegurar la sostenibilidad financiera a largo plazo de los operadores de transporte ferroviario urbano. Maximizar los ingresos rara vez, por no decir nunca, es el principal objetivo de un sistema ferroviario urbano; por el contrario, la política tarifaria gira en torno a cuestiones inherentes a la asequibilidad y la equidad. Así y todo, la sostenibilidad financiera y el equilibrio entre los gastos y los ingresos constituyen dimensiones vitales para asegurar el funcionamiento adecuado del sistema ferroviario urbano a lo largo de su ciclo de vida. La bibliografía sobre sistemas ferroviarios urbanos establecidos sugiere que la mejora de la calidad del servicio, más que la reducción de los boletos, puede ser el medio más eficaz para aumentar el número de pasajeros y los ingresos (Brage-Ardao, Graham y Anderson, 2015). También avala la credibilidad de una estrategia de financiamiento según la cual el aumento de los boletos debe estar a la par de los salarios, como mínimo, a fin de financiar las mejoras en la frecuencia o la capacidad del servicio en la red existente.

Notas

Los autores desean agradecer a Leonardo Cañón Rubiano, del Banco Mundial, por sus aportes de investigación, a Alexander Barron y a Judith Cohen, del Imperial College London, por sus contribuciones de contenido, y a los revisores Dominic Patella y Arturo Ardila-Gómez, del Banco Mundial, Juan Antonio Márquez Picón, de Metro de Madrid, e Yves Amsler y Dionisio González, de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), por compartir su experiencia y críticas constructivas durante toda la elaboración de este capítulo.

1. El seguimiento del desempeño de la operación suele formar parte de un programa más integral de todo el sistema en el que también se miden los beneficios económicos, el desempeño de la gestión y los beneficios para la comunidad (TCRP, 2003).
2. CoMET y Nova, grupos dedicados al establecimiento de parámetros comparativos sobre transporte ferroviario urbano, utilizan un sistema de indicadores clave de desempeño conformado por aproximadamente 30 indicadores de primer nivel, los cuales están diseñados para medir el desempeño general del operador en seis áreas: 1) crecimiento, aprendizaje e innovación; 2) sostenibilidad financiera; 3) experiencia del cliente; 4) procesos internos; 5) seguridad, y 6) el medio ambiente (http://cometandnova.org/benchmarking/).
3. En el contexto de los proyectos ferroviarios urbanos, los costos de operación son los fondos necesarios para llevar a cabo la operación y el mantenimiento del sistema anualmente. En la práctica normal, estos costos no incluyen aspectos como la depreciación ni la rehabilitación y renovación de activos que tienen lugar en un período de tiempo más prolongado. Por ende, los datos disponibles sobre los costos de operación son simplemente eso: el presupuesto en efectivo de la entidad institucional que opera el sistema y lleva a cabo tareas de mantenimiento de rutina con un uso intensivo de mano de obra, sin incluir las reinversiones de capital ordinarias. Los datos no suelen incluir la depreciación ni el mantenimiento periódico. Por tal motivo, es importante examinar cuidadosamente los componentes de los datos de costos de operación, incluso entre los sistemas ferroviarios urbanos de un mismo país.
4. La evasión tarifaria y otras formas de fraude pueden plantear un riesgo para las operaciones de los sistemas ferroviarios urbanos y afectar los ingresos generados por la venta de boletos (véase el capítulo 7).

Bibliografía

Anderson, Richard J., Nicholas S. Findlay y Daniel J. Graham (2012), "Improving Fares and Funding Policies to Support Sustainable Metros", en *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2534.

Antos, Justin D., Wendy Jia y Jonathan H. Parker (2017), "Is It Too Crowded in Here? In Search of Safety Standards for Pedestrian Congestion in Rail Stations", artículo presentado en la Reunión Anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, Washington, DC, del 7 al 11 de enero.

Ardila-Gómez, Arturo y Adriana Ortegón-Sánchez (2016), *Sustainable Urban Transport Financing from the Sidewalk to the Subway: Capital, Operations, and Maintenance Financing*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23521

Barron, Alexander, Patricia C. Melo, Judith M. Cohen y Richard J. Anderson (2013), "Passenger-Focused Management Approach to the Measurement of Train Delay Impacts", articulo presentado en la 92.ª Reunión Anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, Washington, DC, del 13 al 17 de enero.

Brage-Ardao, Ruben, Daniel J. Graham y Richard J. Anderson (2015), "Determinants of Train Service Costs in Metro Operations", en *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2534: pp. 31-37.

CH2M Hill (2013), *Transit Asset Management (TAM) Pilot Program: Vol. 1. Asset Inventory and Condition Assessment Guide,* Chicago, Illinois: Autoridad Regional de Transporte del Noreste de Illinois y Administración Federal de Transporte de los Estados Unidos, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/RTA_Final_Rpt._COMBINED_TAM_Pilot_Grant_v1.pdf

Autoridad de Tránsito de Chicago (CTA) (2016), *President's 2017 Budget Recommendations: Building on 70 Years of Service*", CTA, Chicago, Illinois.

Duggan, Paul (2016), "Metro Adopts New Way of Measuring How Well, or Poorly, It Is Performing", en *Washington Post,* 13 de enero, https://www.washingtonpost.com/local/trafficandcommuting/metro-adopts-new-way-of-measuring-how-well-or-poorly-it-is-performing/2016/01/13/6a19057e-ba16-11e5-829c-26ffb874a18d_story.html?utm_term=.e38325e04c6e

Administración Federal de Transporte (FTA) (2014), Base de Datos Nacional de Transporte, Washington, DC: Departamento de Transporte, FTA, https://www.transit.dot.gov/ntd.

Jia, Wendy y Melissa Chow (2015), "How Crowded Is Crowded? A Practitioner's Tool to Assessing Rail Congestion", artículo presentado en la 95.ª Reunión Anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, Washington, DC, del 11 al 15 de enero.

Lomax, Tim, David Schrank, Shawn Turner y Richard Margiotta (2003), *Selecting Travel Reliability Measures*, Instituto de Transporte de Texas, Universidad de Texas A&M, College Station, Texas; Cambridge Systematics, Medford, Massachusetts, https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/TTI-2003-3.pdf.

Autoridad de Transporte de la Bahía de Massachusetts (MBTA) (2016), "Explaining Dashboard Metrics: Subway Reliability", blog de datos, 22 de marzo, http://www.mbtabackontrack.com/blog/36-subway-reliability.

Programa Nacional de Investigación Cooperativa del Transporte Ferroviario (NCRRP) (2015), *Alternative Funding and Financing Mechanisms for Passenger and Freight Rail Projects*, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte, National Academies Press.

Parasram, Richard, Robin Steel, Rory J. Maxwell, Richard Anderson, Robin Charles d'Aubyn Hirsch y Patricia C. Melo (2012), "A Practical Framework for Metro Maintenance Management", artículo presentado en la 92.ª Reunión Anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, Washington, DC, del 7 al 11 de enero.

Rehnström, Gunnar (1991), "Increasing the Service Quality of Metropolitan Railways", informe 3, presentado en el 49.º Congreso Internacional de la Unión Internacional de Transporte Público, Estocolmo, Suecia.

Autoridad Regional de Transporte (RTA) del Noreste de Illinois (2016), *Capital Asset Condition 2016: Year 5 Assessment*, Chicago, Illinois: RTA.

TAM News (2016), *Final TAM Rule Published,* Administración Federal de Transporte de los Estados Unidos, Washington, DC, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/TAMNews5_1.pdf.

Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito (TCRP) (2003), *A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System,* informe 88, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte, http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_report_88/Guidebook.pdf.

—— (2013), *Transit Capacity and Quality of Service Manual,* 3.ª edición, informe 165, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte, http://www.trb.org/Main/Blurbs/169437.aspx.

Dirección de Tránsito del Área Metropolitana de Washington (WMATA) (2017), *Ten-Year Capital Needs Inventory and Prioritization*, Washington, DC: WMATA, https://www.wmata.com/initiatives/plans/upload/CNI-full-report-and-appendices.pdf

—— Departamento de Planificación y Desarrollo Conjunto (2011), *Union Station Access and Capacity Improvement Study Project Report*, Washington, DC: WMATA, https://www.wmata.com/initiatives/plans/upload/Final-Union-Station-Project-Report-Feb182011.pdf.

Banco Mundial (2017), *Railway Reform: Toolkit for Improving Rail Sector Performance*, 2.ª edición, Washington, DC: Banco Mundial.

Banco Mundial y Centro de Estrategia Ferroviaria y del Transporte (RTSC) en el Imperial College London (2017), "The Operator's Story: Emerging Findings", presentación en el Foro Internacional del Transporte, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Leipzig, Alemania, del 31 de mayo al 2 de junio. https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/The-Operator%27s-Story---Emerging-Findings---Leipzig-May-2017.pdf

14 TRATAMIENTO DE LOS IMPACTOS SOCIALES DE LOS PROYECTOS FERROVIARIOS URBANOS

Carlos T. Pérez-Brito

Los sistemas ferroviarios urbanos interactúan con entornos urbanos complejos. Si se implementan adecuadamente, estos sistemas pueden ampliar la accesibilidad y promover el desarrollo inclusivo, lo que genera diversos impactos sociales, económicos y ambientales tanto positivos como negativos. En este capítulo se analizan algunos de los principales impactos sociales vinculados a la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos, mientras que en el capítulo 15 se analizan los impactos ambientales, para la salud y para la seguridad.

El capítulo comienza con la definición de los principales impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos. Estos proyectos pueden tener impactos negativos temporales (durante el diseño del proyecto y la construcción) o permanentes (que continúan durante la operación) sobre espacios públicos y privados, hogares, empresas y comunidades enteras. Los proyectos ferroviarios urbanos pueden afectar a los hogares como consecuencia de la adquisición de terrenos y el reasentamiento, y pueden interrumpir y alterar las actividades económicas de las empresas, tanto formales como informales. Dependiendo de la ciudad, el transporte ferroviario urbano puede tener impactos negativos sobre el patrimonio cultural, incluidos daños a sitios paleontológicos o arqueológicos y monumentos que se consideran patrimoniales, además de cambios en el paisaje estético o arquitectónico en el que se ubican dichos enclaves culturales. En este

Fotografía: Caminando por las vías férreas durante la inundación, Yakarta, 2013.
Fuente: Mulia Sjahrusjiam a través de Flickr (CC BY-NC-ND 2.0).

capítulo también se brindan varios ejemplos de medidas de mitigación de proyectos recientes para ilustrar posibles medidas destinadas a identificar y mitigar estos impactos sociales negativos.

Luego, se analiza el marco establecido para evaluar los impactos sociales y su distribución en relación con el espacio, el tiempo y los grupos sociodemográficos. Los principales componentes del análisis integral y la gestión proactiva de los impactos sociales y los riesgos relacionados con el proyecto (oposición, demora del proyecto o costos superiores a los previstos ocasionados por cambios no anticipados en la mitigación y el diseño) son las evaluaciones del impacto ambiental y social (EIAS), los sistemas de gestión ambiental y social (SGAS) y los planes de gestión ambiental y social (PGAS).

Los corredores ferroviarios urbanos suelen atravesar muchos municipios diferentes, lo que dificulta la coordinación administrativa del proyecto. La coordinación y la consulta con diferentes niveles y ministerios del Gobierno, así como con grupos de ciudadanos grandes y diversos, plantean consideraciones logísticas importantes para la participación de las partes interesadas. Los beneficios de los proyectos ferroviarios urbanos se caracterizan por su dispersión y se distribuyen entre miles de personas. Debido a esa dispersión y a la demora que existe entre la ejecución del proyecto y la materialización de los beneficios, es probable que las personas que pueden beneficiarse del proyecto no se movilicen para respaldarlo. Los costos o los impactos negativos recaen sobre unas pocas personas que tienen un incentivo inmediato para movilizarse y para quienes es más fácil movilizarse porque son una cantidad reducida. Pequeños grupos de oposición pueden dominar la cobertura en los medios de comunicación e incluso echar por tierra los planes de proyectos mejor preparados. Por lo tanto, la gestión de grupos de interés y la generación de coaliciones de apoyo constituyen una parte integral de la tarea para abordar los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos.

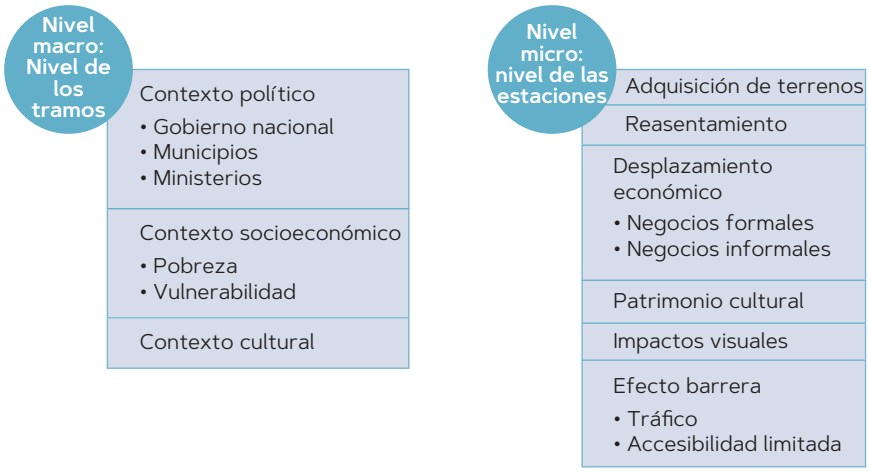
Es fundamental que el organismo de ejecución del proyecto forme un equipo especializado en temas sociales al comienzo de la planificación del proyecto. Este equipo debe servir de enlace entre el personal del proyecto y las partes interesadas externas. Debe participar en los procesos de planificación y diseño para fundamentar el trazado en planta y alzado y la investigación del emplazamiento, y para incorporar las aportaciones y recomendaciones oportunas para las comunidades. Si bien puede ser imposible cumplir con los objetivos de todas las partes interesadas y mitigar todos los impactos sociales negativos, el aporte inicial de la comunidad y de los expertos en temas sociales permite realizar cambios razonables en la planificación y el diseño del proyecto cuando estos son menos costosos, y puede permitir obtener el apoyo y el respaldo político tan necesario para el proyecto. Estos temas y la importancia de la comunicación y la participación temprana y sostenida de las partes interesadas se analizan en la sección final de este capítulo.

Impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos

Por su naturaleza, los proyectos ferroviarios urbanos son lineales, con corredores angostos bastante definidos que atraviesan zonas urbanas. Esta linealidad genera tanto ventajas como dificultades, sobre todo en ciudades urbanas densamente pobladas. Genera importantes desafíos en lo que respecta a la identificación de impactos sociales, que pueden adoptar diversas formas y cambiar de un tramo o una estación a otros. En un plano más general, es fundamental analizar los corredores y los tramos, así como sus características, para comprender la forma y la estructura espacial de la ciudad y su contexto político, topográfico, socioeconómico y cultural (Pérez-Brito y Acevedo-Daunas, 2015). En un plano más reducido, la evaluación social de las estaciones debe incluir el análisis de los posibles impactos y riesgos relacionados con la adquisición de terrenos, el reasentamiento, el desplazamiento económico, el patrimonio cultural, el impacto visual, el tráfico y la accesibilidad limitada a los servicios de transporte para los diferentes grupos, sobre todo aquellos de bajos ingresos y otras poblaciones vulnerables. En el gráfico 14.1 se ilustra este enfoque y se ofrecen algunas variables para considerar a nivel de los tramos (más general) y de las estaciones (más reducido).

Se debe realizar un análisis del impacto distributivo por emplazamientos y segmentos para identificar los impactos y riesgos sociales, especialmente en lo que respecta a las poblaciones urbanas social y económicamente marginadas, tan pronto como sea posible a fin de minimizar sus posibles efectos negativos (véase el recuadro 14.1). Por ejemplo, se realizan evaluaciones del impacto

GRÁFICO 14.1. Dimensiones y variables sociales a nivel de los tramos y las estaciones



RECUADRO 14.1.

Ejemplo de evaluación de un corredor y de inventario del impacto social: metro de Quito, Ecuador

En Quito (Ecuador), la incipiente empresa pública Metro de Quito llevó a cabo una profunda evaluación del impacto social (EIS) utilizando datos de hogares y de censos públicos para analizar diferentes escenarios urbanos y dimensiones sociales. Esta evaluación permite identificar los diferentes tipos claves de impactos, clasificar los efectos distributivos y ubicar dónde se producen dentro de la zona de influencia del proyecto (véase el cuadro B14.1.1). La distribución espacial de estos impactos sociales fue particularmente importante para Quito, una ciudad que tiene una fuerte direccionalidad norte-sur, con importantes expansiones de poblaciones de ingreso medio y bajo en ambos extremos, pero especialmente en el sur (véase el gráfico B14.1.1).

En términos sociodemográficos, la evaluación se llevó a cabo con el fin de identificar el impacto distributivo sobre poblaciones con diferentes niveles de ingresos, activos productivos y tipos de empleo. En términos de distribución espacial, en la evaluación se consideraron distintos niveles de acceso a los servicios básicos (escuelas, clínicas, hospitales) y la distancia desde estaciones de ferrocarril específicas. En esta evaluación también se previó el crecimiento demográfico en el tiempo, la densidad, la zonificación, la concentración de servicios de educación (superior) y de salud en la parte norte del corredor, problemas de asequibilidad, y opciones de transporte alternativo y servicios disponibles para los usuarios. En particular, este análisis permitió identificar los tramos y las estaciones con la mayor concentración de centros de educación superior y de salud y planificar inversiones complementarias, como mejoras en vías de acceso específicas, además de la provisión de transporte público adicional (alimentadores), estacionamiento y pasos peatonales, con el fin de generar una mayor demanda.

CUADRO B14.1.1. Tipos ilustrativos de impactos sociales y sus efectos distributivos

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EFECTOS DISTRIBUTIVOS		
		ESPACIALES	TEMPORALES	SOCIODEMOGRÁFICOS
Reasentamiento	Adquisición de terrenos, reasentamiento, reubicación y pérdida de viviendas	Cuatro estaciones y otras instalaciones del metro	Fase de construcción; en la mayoría de los casos, el impacto es permanente	Zonas densamente pobladas de ingreso bajo

(El cuadro continúa en la página siguiente)

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 14.1.

Ejemplo de evaluación de un corredor y de inventario del impacto social: metro de Quito, Ecuador *(Continuación)*

CUADRO B14.1.1. Tipos ilustrativos de impactos sociales y sus efectos distributivos *(Continuación)*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EFECTOS DISTRIBUTIVOS		
		ESPACIALES	TEMPORALES	SOCIODEMOGRÁFICOS
Desplazamiento económico	Acceso limitado a los negocios; activos con diferentes problemas: a) espacio limitado para estacionar; b) sin espacio para cargar y descargar; c) acceso limitado al tráfico peatonal, clientes	Todas las estaciones, zonas de construcción; grave en cinco estaciones	Durante la construcción; impactos temporales según el tipo de técnica de construcción	Combinación de comercio formal e informal
Desplazamiento económico	Pérdida de activos (vendedores ambulantes, mercado estacional); sin apropiación de terrenos privados	Cerca de estaciones y zonas de construcción ampliadas	Permanente y temporal; comienza con la construcción y continúa durante la operación	Ingresos bajos, comercio informal
Patrimonio cultural	Reubicación de monumentos históricos cerca de estaciones	Tres estaciones	Temporal y permanente	Zonas de ingreso alto
Impactos visuales	Pozos y túneles de ventilación; instalación de emergencia cerca de parque popular	Cerca de dos estaciones	Permanente	Zonas de ingreso medio

(El cuadro continúa en la página siguiente)

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 14.1.

Ejemplo de evaluación de un corredor y de inventario del impacto social: metro de Quito, Ecuador *(Continuación)*

CUADRO B14.1.1. Tipos ilustrativos de impactos sociales y sus efectos distributivos *(Continuación)*

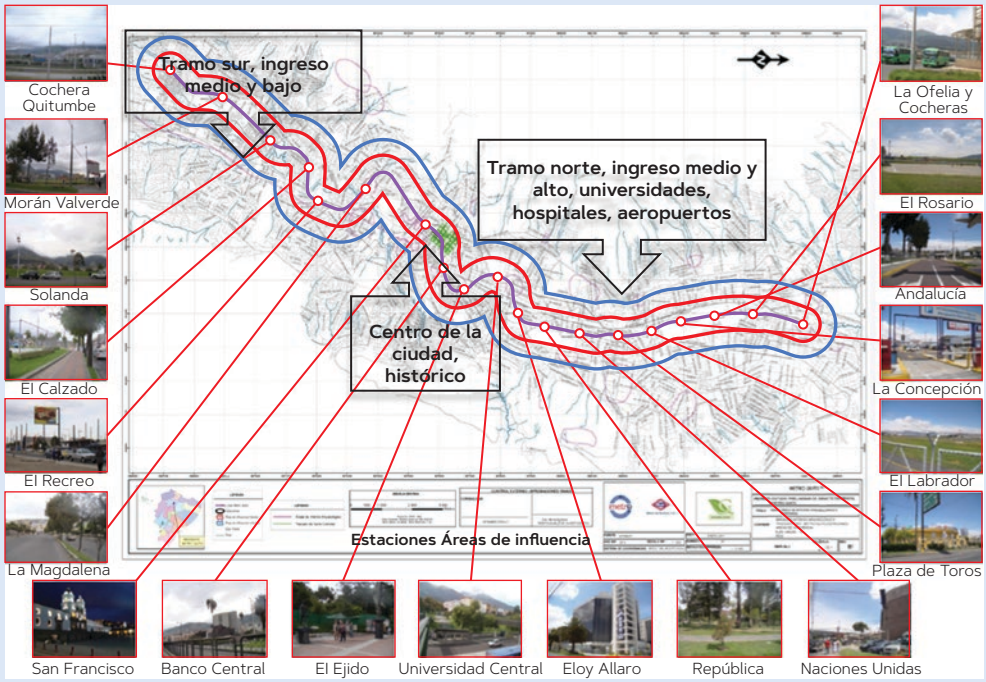
		EFECTOS DISTRIBUTIVOS		
CATEGORÍA	**DESCRIPCIÓN**	**ESPACIALES**	**TEMPORALES**	**SOCIODEMOGRÁFICOS**
Participación de la comunidad	Construcción de estaciones en zonas con alto nivel de delincuencia	Cerca de dos estaciones	Durante la primera etapa de construcción	Zonas de ingreso bajo
Gestión del tráfico	Reorganización de rutas durante la construcción en cuellos de botella claves para el transporte	Parte sur de la ciudad y el centro	Durante la construcción	Todo
Integración multimodal	Reorganización de rutas de autobuses alimentadores hacia estaciones intermodales	Estaciones intermodales, parte norte de la ciudad	Permanente	Operadores de autobuses de ingresos altos y conductores de autobuses de ingresos bajos
Accesibilidad	Acceso peatonal y vehicular limitado a escuelas, clínicas de salud y hospitales	Cerca de dos estaciones	Temporal: dos casos; permanente: un caso	Zonas de ingreso alto
Asequibilidad	Costo del transporte (comparación de tarifas del metro con gastos anteriores de viajes)	Comunidades especialmente en la parte sur y norte de la ciudad	Permanente	Segmentos de ingreso medio y bajo
Aspectos ambientales y sociales	Tala de árboles plantados por las comunidades; gran oposición por parte de los vecinos	Alrededor de cuatro estaciones	Permanente	Zonas de ingreso medio

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 14.1.

Ejemplo de evaluación de un corredor y de inventario del impacto social: metro de Quito, Ecuador *(Continuación)*

GRÁFICO B14.1.1. Evaluación básica de corredor por tramos y estaciones: metro de Quito, Ecuador



Fuente: © Metro de Quito. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

social (EIS) para prever el rápido aumento del valor de las propiedades y la disponibilidad limitada de terrenos en zonas céntricas; la extensión de asentamientos informales en zonas urbanas estratégicas o vulnerables; el escaso reconocimiento de los derechos de arrendatarios residenciales y comerciales o de los ocupantes de facto de espacios urbanos, como vendedores ambulantes informales; la violencia y el delito en zonas urbanas; los cuellos de botella importantes en el transporte, y la interferencia con redes complejas de servicios públicos y privados como agua, energía y telecomunicaciones, entre otros impactos sociales y ambientales. Las EIS se efectúan a nivel de los corredores y de las

estaciones para obtener un claro panorama de las condiciones locales y para evaluar las diferentes alternativas de planificación y diseño como parte de los estudios de factibilidad previa y de factibilidad.

Adquisición de terrenos y reasentamiento

Independientemente de que los proyectos ferroviarios urbanos se realicen a nivel, elevados o de forma subterránea, su construcción requiere de la adquisición de terrenos y del reasentamiento de los ocupantes actuales. Se suelen elegir trazados subterráneos porque minimizan las alteraciones sociales y económicas a largo plazo sobre la superficie, pero siguen siendo necesarios terrenos sobre la superficie para las zonas de estaciones y de almacenamiento de materiales de uso temporal (véase el capítulo 11). Para preparar el proyecto para la construcción es fundamental resolver los problemas relacionados con la adquisición de terrenos y el reasentamiento, tanto antes de la planificación del proyecto como durante esta etapa de construcción. Ignorar o demorar estos problemas podría redundar en importantes costos adicionales. Como explican Calden y Chamley (2010), en el caso de los megaproyectos, el truco consiste en invertir una buena suma de dinero de manera prudente en los primeros días del proyecto, especialmente en el momento de considerar la adquisición de bienes inmuebles y la desviación de instalaciones de servicios públicos, que representan importantes riesgos. En particular, desde el principio se deben invertir tiempo y recursos a fin de comprender los marcos jurídicos y los derechos de propiedad para la adquisición, la expropiación y la aplicación del derecho de expropiación de bienes inmuebles en el contexto local. Si se pospone la adquisición de terrenos para los emplazamientos o la compra de edificios que se deben demoler, no se ahorra dinero; a la larga, demorar la adquisición implica mayores costos porque estas demoras suelen ocasionar retrasos en las obras de construcción (Calden y Chamley, 2010).

En los proyectos ferroviarios urbanos los ocupantes de facto de los espacios urbanos representan un desafío importante para la adquisición de terrenos y los reasentamientos en proyectos ferroviarios urbanos. Analizar las condiciones socioeconómicas del propietario o inquilino y comprender las principales características de las propiedades que se adquirirán (a quién le pertenece la tierra, quién vive allí y cómo se usa) puede ayudar a identificar posibles riesgos relacionados con la adquisición y a determinar las medidas de mitigación adecuadas. Un inventario de propiedades con datos socioeconómicos de las poblaciones afectadas resulta extremadamente valioso para desarrollar diseños alternativos para el trazado de las vías y para identificar propiedades posiblemente afectadas. Dependiendo de las leyes de expropiación o reasentamiento de cada país, existen diferentes acuerdos de ocupación residencial o posesión comercial para

personas que tienen derechos de propiedad formales o para quienes no los tienen. Independientemente de quién ejecuta el proceso de adquisición de terrenos, es posible que las personas sin derechos formales sobre las tierras no tengan derecho a recibir compensación. Para las familias y personas con derechos de propiedad formales, la mayoría de las leyes locales especifican procedimientos para abordar el reasentamiento conforme a las leyes civiles y de expropiación, que otorgan derechos a recibir diversas opciones de compensación.

Un ejercicio útil para realizar durante la planificación del proyecto consiste en clasificar las unidades comerciales y las viviendas afectadas por la ejecución de un proyecto en categorías de uso del suelo para fines sociales y económicos (por ejemplo, propietarios de viviendas, inquilinos o arrendatarios, negocios formales, vendedores ambulantes informales) y definir su estado legal correspondiente. Por eso, las medidas de mitigación y compensación deberían estar orientadas a cada unidad conforme a los requisitos y las prácticas locales, las negociaciones y las estrategias de participación de la comunidad para la resolución de conflictos (véase el recuadro 14.2).

En las soluciones de reasentamiento se debe considerar el valor de las propiedades, la disponibilidad limitada de terrenos en zonas céntricas y densamente pobladas, la dependencia de los individuos respecto de la ubicación física para acceder a servicios públicos y oportunidades laborales, y la existencia de

RECUADRO 14.2.

Reasentamiento específico y planificación de la compensación para diferentes hogares y unidades comerciales: línea 2 del metro de Lima

En el proyecto de la línea 2 del metro de Lima se definieron varias unidades sociales para focalizar los beneficios de compensación y las medidas de mitigación, y para asignar los recursos limitados del plan de acción de reasentamiento. En el plan se definieron dos unidades sociales: 1) unidad social habitacional (propietario con título de propiedad o posesor sin título formal) y 2) unidad social económica (diferenciada por actividades que generan ingresos y por individuos que realizan actividades económicas formales o informales). Al definir estas unidades sociales, el organismo de ejecución del proyecto pudo formular orientaciones específicas sobre medidas de compensación para los hogares desplazados y los negocios. Al definir ambas unidades sociales y diferentes tipos de compensación disponibles a través del plan de reasentamiento, el organismo de ejecución del proyecto pudo establecer un mapa y comunicar de forma clara las condiciones de elegibilidad al personal del proyecto y a aquellos afectados por este (véase el cuadro B14.2.1).

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 14.2.

Reasentamiento específico y planificación de la compensación para diferentes hogares y unidades comerciales: línea 2 del metro de Lima

(Continuación)

A través del plan de reasentamiento de la línea 2 del metro de Lima se podían obtener los siguientes tipos de compensación:

- *Transacciones*. Reconocimiento de la compensación debido a las transacciones necesarias para vender o comprar la propiedad adquirida y la propiedad de reemplazo (hogar nuevo).
- *Reubicación*. Aplicable a las propiedades afectadas en su totalidad; se aplica a hogares y negocios que requieren reubicación temporal o permanente obligatoria.
- *Reposición de vivienda*. Garantiza una nueva residencia con características similares o mejores que la actual o contribuye a la adquisición de una vivienda alternativa.
- *Alquiler*. Diseñado para aquellos que reciben ingresos de la renta; mantiene el flujo de ingresos durante un período determinado conforme a un censo socioeconómico que certifica los ingresos obtenidos durante los seis meses anteriores.
- *Reubicación de la actividad económica*. Beneficio de compensación para mitigar el impacto de reubicar la actividad económica o mantener el flujo de ingresos; se aplica a negocios formales e informales pequeños y vulnerables.

CUADRO B14.2.1. Plan de reasentamiento y las unidades sociales elegibles para compensación

	CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD PARA LA COMPENSACIÓN				
UNIDAD SOCIAL	TRANSACCIONES	REUBICACIÓN DE VIVIENDA	REPOSICIÓN DEVIVIENDA	ALQUILER	REUBICACIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA
Unidad social de hogares	X	X	X		X
Unidad social económica	X	X			
Hogar más unidad social económica	X	X	X	X	X
Unidad social económica: locador (propietario de la propiedad)	X			X	
Unidad social económica: locación y sublocación (locatario)	X	X			X

Fuente: Adaptado del Ministerio de Transporte de Colombia.
Nota: X = elegible para la compensación; en blanco = no elegible.

residentes y vendedores ambulantes informales. En los países de ingreso bajo y medio, incluso el proyecto ferroviario urbano más pequeño, ya sea por tamaño o por financiamiento, puede encontrarse con patrones complejos de reasentamiento que pueden involucrar a residentes de asentamientos informales cuyos derechos de ocupación del suelo no están legalmente reconocidos. Los proyectos de infraestructura en zonas urbanas plantean desafíos diferentes a los del reasentamiento rural tradicional. Sin embargo, los procesos de reasentamiento en contextos urbanos siguen siendo gestionados por muchos organismos de ejecución de proyectos de la manera en que se han gestionado tradicionalmente en zonas rurales, donde las personas a menudo pueden ser trasladadas lejos del lugar del proyecto. Dentro de este esquema no se reconoce el tremendo impacto que implica sacar a familias pobres de zonas de alto valor (tanto monetario como intrínseco) y enviarlas a zonas periféricas e insuficientemente atendidas. Este impacto suele representar un riesgo social y político muy alto que puede perjudicar gravemente la ejecución del proyecto (Roquet y otros, 2015).

En zonas urbanas, los problemas relacionados con la adquisición de terrenos y el reasentamiento requieren soluciones diferentes de las que se aplican en proyectos rurales. Estas soluciones incluyen integrar el transporte con temas urbanos y sociales, como las viviendas y el uso mixto del suelo (véase el capítulo 16). En este contexto, los sistemas ferroviarios urbanos de la Región Administrativa Especial de Hong Kong (China) y Japón son ejemplos de buenas prácticas en lo que respecta al uso de la readaptación de la zonificación y las asociaciones público-privadas para integrar la planificación urbana, el uso mixto del suelo y los procesos de participación con el fin de resolver la necesidad de adquirir terrenos (Lozano-García y otros, 2013). Los proyectos en países de ingreso bajo y medio pueden aprender de estas experiencias y abordar la adquisición de terrenos y el reasentamiento como oportunidades para integrar el proyecto ferroviario urbano con metas a largo plazo que tengan en cuenta el modelo urbano y la integración social. Por ejemplo, durante la construcción de la línea 1 del metro de Lima (Perú), el reasentamiento de aproximadamente 100 familias para construir una estación elevada en una zona densamente poblada representó un desafío que se convirtió en una oportunidad para la participación de la comunidad y el desarrollo de ingresos mixtos. En este caso, dos grupos diferentes de residentes fueron reasentados en el lugar a fin de garantizar el acceso a los servicios públicos y minimizar la alteración de las redes de apoyo social y las fuentes de actividad económica.

Desplazamiento económico

Los desplazamientos permanentes de negocios en zonas de estaciones y a lo largo de vías de circulación a nivel o elevadas se gestionan durante la adquisición

de terrenos y el reasentamiento, pero otro desafío para todo proyecto ferroviario urbano es la alteración y el desplazamiento temporales de los negocios formales y las actividades comerciales informales debido a la construcción. El desplazamiento económico (pérdida de activos o de acceso a activos que ocasiona pérdida de ingresos o de medios de subsistencia) como resultado de la construcción de estos proyectos es uno de los problemas socioeconómicos más complejo y controvertido vinculado al desarrollo de ferrocarriles urbanos. En zonas urbanas, esta pérdida puede afectar a la actividad comercial tanto formal como informal. El desplazamiento económico representa un factor de riesgo importante para cualquier proyecto ferroviario urbano, ya que los propietarios de negocios (formales) pueden convertirse en un grupo de oposición importante si la situación no se gestiona con cuidado.

Negocios formales

A fin de evaluar el desplazamiento económico de los negocios formales, se deben recopilar datos censales sobre los tipos y las categorías de negocios en zonas de influencia directa e indirecta del proyecto. Según el nivel de detalle y la disponibilidad de estos datos, esta información se debe complementar con investigaciones en el emplazamiento respecto de las fuentes de ingresos y las condiciones económicas de los propietarios de negocios y de los trabajadores en la zona del proyecto. En dicha investigación se debe intentar identificar posibles oportunidades de generar ingresos para los propietarios de negocios locales y para los trabajadores que puedan usarse como alternativas a los pagos de indemnizaciones directas. Los negocios que se encuentran dentro de la zona de influencia directa de las estaciones tienden a sufrir más impactos socioeconómicos negativos, según el tipo de negocio y la dependencia del tráfico vial, ya que las vallas utilizadas en la construcción suelen restringir el acceso peatonal y vehicular a los negocios adyacentes al emplazamiento (véase la imagen 14.1).

En muchos casos, entre los individuos afectados por el desplazamiento económico se incluyen propietarios y comerciantes de negocios formales, inquilinos, arrendatarios, trabajadores asalariados y propietarios de negocios informales que ocupan terrenos que no son propios. Dependiendo de la región metropolitana, existen varios acuerdos de ocupación residencial o posesión comercial para personas que tienen derechos de propiedad formales o para quienes no los tienen. Se deben desarrollar medidas de mitigación específicas para abordar los impactos sobre las personas sin derechos de propiedad formales, como residentes de terrenos privados sin título legal; arrendatarios y subarrendatarios; ocupantes ilegales de terrenos públicos y privados, vías de circulación y otras zonas (incluidos drenajes, lechos de ríos y vertederos); propietarios de negocios informales o semiformales, y vendedores ambulantes y mercados (Banco Mundial, 2004).

IMAGEN 14.1. Acceso a residencias y negocios durante la construcción: metro de Quito, Ecuador

Fuente: © Carlos Pérez-Brito. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Negocios informales

El tratamiento de los casos sin derechos ni posesión formales sobre el suelo se convierte en un punto de conflicto en la mayoría de los proyectos ferroviarios urbanos. No existe una solución fácil para estos desafíos. El primer paso para abordar el tema de los negocios informales y la tenencia de los terrenos es crear un inventario de dicha actividad en la estación o en otro emplazamiento de construcción. Dado que estas actividades no están del todo incluidas en los censos tradicionales y en otros datos, las formas pasivas y alternativas de recopilación de datos, como la toma de imágenes aéreas con drones, pueden ayudar a establecer estimaciones rápidas y de bajo costo de la magnitud de los negocios informales en la zona (véase la imagen 14.2). Estas exploraciones pasivas se pueden complementar luego con entrevistas personales o grupos focales para comprender a los afectados.

IMAGEN 14.2. Uso de drones para realizar una evaluación rápida de vendedores callejeros cerca de una estación: metro de Lima

Fuente: © Social Capital Group, Metro de Lima. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Muchos países no cuentan con disposiciones legales claras para manejar la actividad comercial informal en la ejecución de proyectos. El problema surge cuando los derechos de propiedad están establecidos de manera deficiente y con el tiempo se realizan varios acuerdos de ocupación del suelo. En este contexto, la existencia de individuos y negocios con derechos consuetudinarios, pero sin título de propiedad formal sobre el terreno, es un tema legal complicado. En la práctica, la mera consideración de la actividad informal para un posible mecanismo de mitigación y compensación resulta problemático para los funcionarios públicos, quienes argumentan que, sin un marco legal, los gastos relacionados con la informalidad no son viables ni legales y pueden establecer un

precedente negativo. Sin embargo, lo que no es viable para la ejecución sostenible y sin conflictos del proyecto es creer que un sistema ferroviario urbano, o cualquier otro proyecto de transporte urbano, se puede construir sin considerar el hecho de que las calles en las ciudades, sobre todo en países de ingreso medio y bajo, se usan para la economía informal y son mercados de facto para los pobres (Muñoz y Paget-Seekins, 2016).

En el caso especial de los mercados callejeros, sobre todo donde existe una alta concentración de vendedores en veredas y esquinas, la necesidad de reubicación se debe minimizar en la mayor medida posible. Si es imposible evitar la reubicación, existen dos alternativas: 1) la reubicación permanente del mercado callejero o 2) la integración del mercado callejero en el diseño general de la estación de ferrocarril. Estas dos alternativas tienen implicaciones importantes para la gestión de riesgos sociales, ya que la reubicación es una tarea titánica incluso para el personal más experimentado.

La reubicación temporal o permanente de los vendedores y mercados callejeros requiere la identificación de una zona nueva. Si la cantidad de negocios informales que se deben reubicar es significativa, la reubicación se debe considerar como otro proyecto independiente. Incluye temas relacionados con la coordinación y los plazos entre diferentes entidades públicas y privadas, además de negociaciones con las partes afectadas. En la práctica, la reubicación de las actividades económicas informales es extremadamente complicada y, por lo tanto, se debe llevar a cabo mucho antes de iniciar las actividades de construcción. Si no se puede evitar la reubicación, se deben considerar las siguientes opciones:

- Reubicación del emplazamiento en un terreno vacío cercano
- Autorreubicación para aquellos que prefieran asentarse en el lugar de su elección que puede ofrecerles mejores oportunidades comerciales
- Reubicación en un emplazamiento seleccionado del proyecto que es, en la mayoría de los casos, la opción más común (Mathur, 2016) Quienes tienen negocios informales pueden aceptar reubicarse en un sitio diferente si este les ofrece iguales o mejores oportunidades de ganarse la vida como vendedores, siempre que cuenten con mejores servicios básicos (por ejemplo, electricidad, agua o gas) o más derechos formales de ocupación del suelo.

Medidas de mitigación durante la construcción

Entre las actividades fundamentales para minimizar y mitigar los impactos del desplazamiento económico durante la construcción se incluyen la definición de

las zonas de construcción y las partes responsables de la comunicación y de la participación de las partes interesadas, los plazos de las obras de construcción, el anuncio claro de las restricciones de acceso y los mecanismos de compensación directos e indirectos.

En los contratos legales o acuerdos de concesión se debe definir la zona para la construcción y establecer las funciones y responsabilidades del organismo de ejecución del proyecto, las empresas de construcción y los contratistas privados. Determinar quién maneja la comunicación directa con los hogares y negocios afectados es un paso importante para reducir el posible riesgo de conflicto. En general, se recomienda establecer canales de comunicación y definir mecanismos de reclamos para manejar las quejas. En muchos proyectos, dependiendo de los acuerdos institucionales y la coordinación entre las principales partes interesadas, la comunicación directa con las partes afectadas está a cargo de los municipios, los ministerios de transporte o los contratistas.

En muchos casos, el cierre de calles se programa con antelación y antes de que comience la construcción. La flexibilidad en las fechas de cierre puede favorecer la participación de la comunidad, especialmente durante negociaciones difíciles con propietarios de negocios. Además, establecer cronogramas de construcción que permitan que las obras continúen durante la noche y los fines de semana también puede ayudar a mitigar el impacto sobre los propietarios de negocios. Pero sobre todas las cosas, la planificación cuidadosa de las obras de construcción en etapas para minimizar el plazo de construcción en cualquier emplazamiento es fundamental para reducir los impactos sociales negativos, especialmente el desplazamiento económico (véase el capítulo 11).

Las obras de construcción representan diferentes tipos de restricciones de acceso para diferentes negocios y hogares. Los servicios básicos como centros de salud, escuelas y templos merecen un tratamiento especial (véase el recuadro 14.3), pero, como regla general, se debe garantizar el acceso a los negocios en la mayor medida posible y se deben identificar alternativas durante la construcción. Entre las alternativas se incluye ofrecer asistencia y espacio para colocar letreros y anuncios para clientes (como "Sí, estamos atendiendo durante las obras"), facilitar nuevas vías de acceso, ajustar o cambiar las zonas de construcción, y desarrollar mecanismos de compensación directos e indirectos o asistencia en forma de programas sociales orientados a las partes afectadas. Son ejemplos de estos mecanismos los acuerdos con empresas para proveer productos y servicios a empresas de construcción; la reubicación temporal o permanente de negocios en zonas cercanas; la creación de puestos de trabajo relacionados con las zonas afectadas por la construcción, y las

RECUADRO 14.3.

Reubicación de la escuela secundaria n.º 28: Nanchang, China

Durante el sondeo del emplazamiento y la primera evaluación del impacto social (EIS) para el proyecto del corredor de la línea 2 de transporte ferroviario de Nanchang, se determinó que la construcción y el desarrollo inmobiliario de la estación Qingshanlukou requerían la demolición de importantes centros educativos de la escuela secundaria n.º 28 de Nanchang. Al elaborar el plan de acción de reasentamiento para el proyecto, la Oficina de Gestión de Proyectos y la Oficina de Expropiación y Compensación del Distrito de Donghu trabajaron con el Consejo de Educación de Nanchang, el Consejo de Educación del Distrito de Donghu, la escuela n.º 28 y el Colegio de Educación de Nanchang para llegar a un acuerdo sobre el reasentamiento de la escuela secundaria n.º 28 en las instalaciones adyacentes al Colegio de Educación de Nanchang. Las nuevas instalaciones se encuentran a menos de 1000 metros de distancia de la ubicación anterior de la escuela, lo que representa una alteración menor en los hábitos de traslado de maestros, estudiantes y familias. La escuela fue reubicada durante las vacaciones, por lo que no se alteraron los cronogramas de clase. El Colegio de Educación de Nanchang ya contaba con recursos integrales, incluidos salones multimedia y audiovisuales, una sala de informática, laboratorios, salones de lectura electrónica, un centro de redes, salas de clase, una cafetería y un campo de deportes. Por lo tanto, la nueva ubicación estaba totalmente equipada para que la escuela secundaria n.º 28 comenzara las actividades normales de enseñanza y aprendizaje tan pronto como se completara el traslado (Oficina de Gestión de Proyectos de NCRT, 2013).

exenciones fiscales durante la construcción para aliviar el impacto sobre los negocios.

Valor agregado para las comunidades locales

Además de mitigar el impacto negativo durante la construcción, el organismo de ejecución del proyecto debe considerar cómo generar valor a largo plazo para los negocios locales en la planificación y el diseño del proyecto. Por ejemplo, el proyecto puede incluir mejoras de las instalaciones o zonas comerciales, como un mejor acceso a nuevas estaciones de ferrocarril urbano, pasos peatonales y plazas, y renovación de fachadas, entre otras medidas. Estas mejoras son particularmente importantes en zonas cercanas a las estaciones e implican un beneficio tanto para la comunidad como para el organismo de ejecución del proyecto. Destacar de qué manera estas mejoras a largo plazo pueden compensar los inconvenientes ocasionados durante la construcción ofrece una oportunidad fundamental para la participación de las partes interesadas y la creación de alianzas.

Impactos visuales

Ya sea que el proyecto ferroviario urbano se realice a nivel, elevado o de forma subterránea, se debe considerar el impacto visual, sobre todo en el caso de estaciones de ferrocarril y otras estructuras importantes como pozos para bombas y ventilación y salidas de emergencia. Una tarea importante es definir el carácter visual del sistema ferroviario urbano en términos de magnitud, forma y materiales, considerando el contexto urbano de las estaciones y la integración con el espacio público (FHWA, 2015).

- *Magnitud*
- *Forma*
- Por *materiales* se entienden los colores y las texturas utilizados en la construcción física y su compatibilidad con el carácter visual de la zona circundante (véase la imagen 14.3).

IMAGEN 14.3. Estación central que integra ladrillos, colores y texturas para minimizar el impacto visual y aumentar la compatibilidad con la arquitectura existente: metro de Medellín, Colombia

Fuente: © Metro de Medellín 2016. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Más allá de su carácter y sus atributos, el impacto visual de un sistema ferroviario urbano se mide con respecto a los cambios que genera en el entorno existente, y a la sensibilidad y la magnitud de estos impactos sobre los espectadores.

Patrimonio cultural

El patrimonio cultural hace referencia a todas las áreas, estructuras, características u objetos, naturales o artificiales, que poseen valor para las personas o que se identifican por tener importancia espiritual, histórica o arqueológica (Quiroga y Milewski, 2007). Las evaluaciones del patrimonio cultural para los proyectos ferroviarios urbanos incluyen el tratamiento no solo de los restos arqueológicos, sino también de los hallazgos paleontológicos e históricos, entre los que se incluyen la arquitectura y los paisajes, como centros coloniales, edificios y monumentos de importancia cultural y científica. Puede considerarse que los hitos, los lugares o los espacios callejeros típicos donde se produjeron eventos históricos importantes forman parte del patrimonio vivo. La construcción y la operación de un proyecto ferroviario urbano pueden extenderse hacia lugares de valor y, si no se mitigan adecuadamente, pueden producir daños a edificios de importancia histórica y cultural, parques, sitios arqueológicos y terrenos sagrados como cementerios. Por lo tanto, la gestión del patrimonio cultural es fundamental en el desarrollo del sistema ferroviario urbano.

Durante la construcción de sistemas ferroviarios urbanos en todo el mundo se han hecho importantes descubrimientos arqueológicos (véase la imagen 14.4). De hecho, las excavaciones arqueológicas y la protección de bienes históricos y culturales sobre la superficie han definido las características arquitectónicas y de diseño de los sistemas de metro en Atenas y Ciudad de México. Se han implementado políticas y procedimientos internacionales para gestionar el impacto sobre el patrimonio cultural, sobre todo en los reconocidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Los requisitos de las salvaguardas del Banco Mundial sirven de guía para 1) gestionar recursos de valor histórico y cultural e 2) incluir procedimientos para casos de hallazgos fortuitos en los planes de gestión ambiental y social para la construcción de túneles y estaciones.

Tal como sucede con la gestión del impacto visual, para analizar los impactos de los proyectos ferroviarios urbanos en el patrimonio cultural se debe realizar una evaluación inicial de las características de los bienes culturales en la zona de influencia del proyecto y se debe incluir su singularidad, su carácter irreemplazable, su importancia, el valor para las comunidades y el contexto espacial. Para los proyectos ferroviarios urbanos, el contexto espacial de la ubicación de los bienes culturales desempeña un rol importante en el diseño y la construcción, dado que una estructura puede tener un impacto visual importante sobre el

IMAGEN 14.4. Excavación de lo que se sospechaba era una fosa con restos de la peste negra de 1665 en las calles de Liverpool: Crossrail, Londres

Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

carácter de la zona. Dependiendo de si los emplazamientos de construcción se encuentran designados como Sitios del Patrimonio Mundial por la UNESCO, la evaluación del patrimonio cultural para el transporte ferroviario urbano exige el cumplimiento de regulaciones nacionales e internacionales para la preservación y protección arqueológica, sobre todo en ciudades con altas probabilidades de que se produzcan hallazgos y con un largo historial de asentamientos humanos. También se deben realizar estudios históricos y arqueológicos integrales antes del inicio de las obras de construcción, y la construcción se debe planificar y coordinar cuidadosamente (véase el recuadro 14.4).

Gentrificación y cambios en la composición del vecindario

La falta de un enfoque integral para mejorar los servicios de transporte y desarrollar viviendas suficientes y equitativas en muchos casos ha hecho que los pobres urbanos sean desplazados lejos de los centros de la actividad económica y social (Litman, 2016). El término "gentrificación" se usa en los Estados Unidos desde la década de 1970 para describir los cambios en la composición de los

RECUADRO 14.4.

Ejemplos de evaluación del patrimonio cultural: metro de Lima (Perú) y metro de Quito (Ecuador)

Una evaluación exclusiva del patrimonio cultural: metro de Lima

En el metro de Lima, Perú, el organismo de ejecución del proyecto llevó a cabo una evaluación del patrimonio cultural como un anexo exclusivo de la evaluación del impacto ambiental y social (EIAS). En esta evaluación se clasificaron todas las zonas arqueológicas precolombinas (*huacas*) y los edificios y monumentos históricos a lo largo de la zona de influencia de las líneas ferroviarias. La zona alrededor de la estación Paseo Colón se consideró de particular importancia para el patrimonio cultural debido a la cantidad de edificios históricos con estilo arquitectónico similar.

Luego de la evaluación del patrimonio cultural, el organismo de ejecución del proyecto realizó un inventario de edificios históricos, coloniales y de la época republicana en la zona circundante a la estación Paseo Colón para evaluar los posibles impactos directos y para cumplir con los principales requisitos del Ministerio de Cultura y del municipio. Con esta profunda evaluación se identificaron activos del patrimonio cultural en la zona de la futura estación Paseo Colón, incluidos la Plaza Bolognesi, el Museo de Arte Italiano, el Museo de Arte de Lima y el Parque de la Exposición. Esta información detallada del patrimonio cultural permitió que el organismo de ejecución del proyecto considerara alternativas de diseño (como la profundidad de los túneles y los métodos de construcción utilizados para los segmentos de túneles y las estaciones) que permitirían reducir los posibles impactos sobre los edificios históricos y culturales en la superficie.

La importancia de la investigación arqueológica detallada: estación San Francisco, metro de Quito

A fin de detectar posibles riesgos e identificar los impactos del proyecto sobre los recursos históricos y culturales, es fundamental realizar un censo de edificios históricos y sitios arqueológicos. Esta investigación se puede basar en los registros nacionales, en caso de que estén disponibles, pero por lo general se debe llevar a cabo como parte del proyecto. En la estación San Francisco del Metro de Quito se llevaron a cabo muchos estudios arqueológicos y técnicos, junto con excavaciones exploratorias, bastante tiempo antes de comenzar la construcción para evitar todo contacto directo con sitios arqueológicos relevantes. Los estudios iniciales incluyeron inventarios detallados de edificios históricos además de estudios hidrológicos y geotécnicos. En general, aunque los emplazamientos o edificios se pueden identificar por los restos en superficie o la topografía sugerente, las características de un sitio y su importancia cultural no se pueden identificar solamente con un examen en superficie. Por lo tanto, los estudios de superficie y los inventarios iniciales se deben complementar con excavaciones directas en las que participen expertos en arqueología en sitios particularmente identificados a través de los inventarios (véanse las imágenes B14.4.1 y B14.4.2).

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 14.4.

Ejemplos de evaluación del patrimonio cultural: metro de Lima (Perú) y metro de Quito (Ecuador) *(Continuación)*

IMAGEN B14.4.1. Estudios arqueológicos de superficie en la estación San Francisco

Fuente: © Carlos Pérez-Brito. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

IMAGEN B14.4.2. Excavación directa de hallazgos arqueológicos en la estación San Francisco

Fuente: © Robert Montgomery. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

vecindarios y el desplazamiento de los hogares de bajos ingresos debido al aumento del valor de la tierra en torno a los nuevos desarrollos de transporte público de alta capacidad que no están acompañados por una planificación inclusiva y suficiente del uso del suelo y del desarrollo residencial.

Si bien el aumento del valor del suelo ofrece a la ciudad una oportunidad de obtener nuevas fuentes de ingresos para reinvertir en viviendas asequibles y en el desarrollo orientado al transporte (véase el capítulo 16), la posibilidad de que los residentes de menores ingresos dependientes del transporte público sean desplazados gradualmente se suele pasar por alto durante la planificación de proyectos de transporte (Barton, 2016). La mejora del acceso a los servicios de transporte público aumenta el valor de las propiedades, lo que puede afectar de manera desproporcionada a los hogares de ingreso bajo. Un hogar pobre puede terminar siendo rico en términos de activos pero pobre en términos de efectivo porque la línea ferroviaria urbana aumenta el valor de la propiedad, pero no aumenta sus ingresos. En otras palabras, las propiedades adyacentes al proyecto ferroviario pueden aumentar su valor, pero los ingresos utilizados para

pagar impuestos adicionales se estancan, a menos que hogares de mayores ingresos se trasladen al vecindario. Aunque el aumento del valor de las propiedades es beneficioso para la captura del valor del suelo y otros mecanismos de financiamiento, no se debe ignorar la gentrificación resultante.

Los organismos de ejecución de proyectos no poseen una comprensión cabal de la gentrificación y el desplazamiento de hogares de bajos ingresos debido a mejoras o inversiones en nueva infraestructura para el vecindario. La complejidad de la gentrificación y la necesidad de medidas específicas de mitigación para abordarla representan un desafío en la gestión de los impactos sociales y los riesgos de los proyectos ferroviarios urbanos. Se necesita realizar un análisis más profundo para comprender la dinámica de la gentrificación, para identificar las buenas prácticas y para incorporarlas en el diseño y la ejecución de los proyectos ferroviarios urbanos, particularmente en un contexto de urbanización creciente.

En el cuadro 14.1, se identifica una serie de indicadores que son útiles para detectar los cambios en los vecindarios que podrían redundar en la

CUADRO 14.1. Indicadores para analizar la gentrificación y los cambios en la composición del vecindario

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	IMPACTOS POSIBLES	FUENTE DE DATOS
Cambio en el valor de la propiedad y el alquiler	Valor de venta, valor de propiedad y precios de alquiler	Falta de asequibilidad para viviendas y transporte; mayores tiempos de viaje	Autoridad tributaria del Gobierno local
Inversión en el vecindario	Cantidad de permisos de construcción y de renovación	Aumento del valor del suelo y del precio del alquiler	Departamentos de construcción o planificación de la jurisdicción
Cambio en la ocupación y cambios demográficos	Datos demográficos sobre migrantes y emigrantes (raza, etnia, edad, ingresos, empleo, formación académica, estado civil)	Cambios en la dinámica y las redes sociales del vecindario	Censo, registro de votantes, directorios de inmuebles, encuestas, registros de licencias de conducir
Potencial de inversión	Características del vecindario y de la construcción (por ejemplo, antigüedad y metros cuadrados, y coeficiente de mejora de las tierras)	Ninguno	Asesor de impuestos, censos, escrituras

Fuente: Modificado de Zuk y otros (2015).

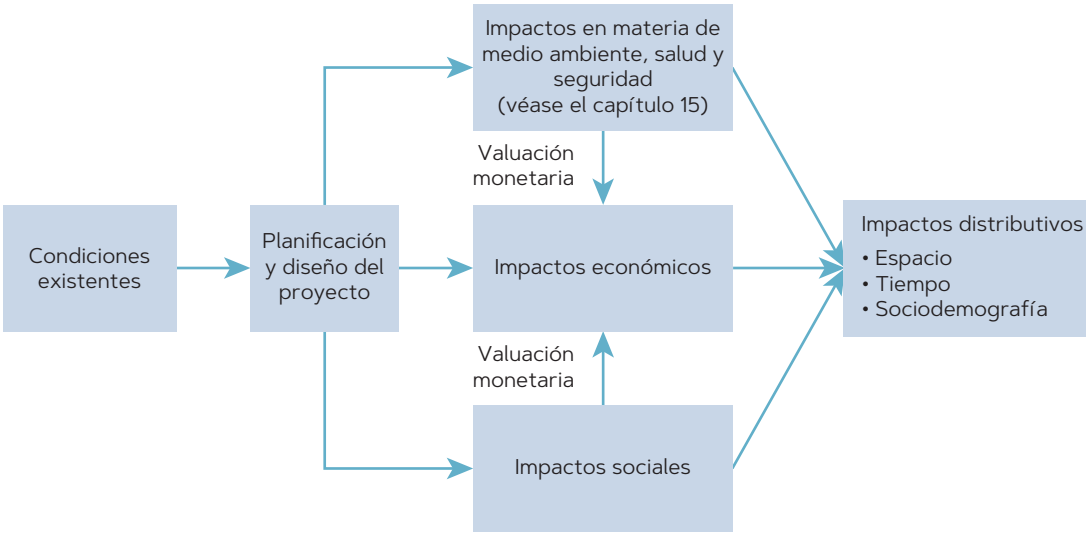
gentrificación y causar otros impactos sociales negativos. La clave para combatir estos impactos negativos es adoptar un enfoque integral, combinando la planificación de la infraestructura ferroviaria urbana con una planificación sensata del uso del suelo y del desarrollo en torno a las estaciones (véase el capítulo 16)[1].

Métodos para evaluar y mitigar los impactos sociales

En los proyectos ferroviarios urbanos, los impactos sociales se deben identificar a diferentes escalas y los impactos acumulados a lo largo de los corredores se deben desglosar por tramo y estación. Los tramos y las estaciones se deben analizar por separado, teniendo en cuenta las características ambientales, sociales y económicas únicas de cada zona del proyecto para identificar los posibles impactos distribuidos con respecto a los diferentes grupos sociodemográficos, al espacio y al tiempo (véase el gráfico 14.2).

Los impactos de los proyectos rara vez afectan a una zona urbana de manera homogénea. Los efectos se suelen distribuir de manera desigual en el espacio (estaciones, vecindarios), en el tiempo y entre los diferentes grupos

GRÁFICO 14.2. Evaluación de los impactos distributivos ambientales, sociales y económicos



Fuente: Adaptado de Jones y Lucas, 2012.

RECUADRO 14.5.

Guías y herramientas de clasificación para la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura y transporte

En los últimos años, se ha observado una proliferación de guías y herramientas de clasificación orientadas a mejorar la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. Sin embargo, solo unas pocas son bien conocidas y se utilizan de forma generalizada. Entre ellas, se incluyen las siguientes (Pollalis y otros, 2012):

- Sistema de evaluación integral para la eficiencia del entorno de construcción (CASBEE), un método para evaluar y clasificar el desempeño ambiental de los edificios y el entorno construido (http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/)
- Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED) (https://www.usgbc.org/leed)
- Cascadia (https://access.living-future.org/cascadia)
- Green Globe, una certificación global para el turismo sostenible (https://greenglobe.com/)

Los organismos de transporte, principalmente en el sector vial, han desarrollado herramientas más específicas, entre las que se incluyen las siguientes:

- Envision (https://sustainableinfrastructure.org/)
- CEEQUAL, un esquema internacional de evaluación, clasificación y reconocimiento de la sostenibilidad basada en datos empíricos para la ingeniería civil (http://www.ceequal.com/)
- La Herramienta de Sostenibilidad para la Evaluación Voluntaria de la Infraestructura (INVEST) de la Administración Estadounidense de Carreteras de los Estados Unidos, una herramienta de autoevaluación web que incluye buenas prácticas en materia de sostenibilidad voluntaria (llamadas criterios), que cubren la totalidad del ciclo de vida de los servicios de transporte, incluidos la planificación del sistema, la planificación del proyecto, el diseño, la construcción, y la operación y el mantenimiento (https://www.sustainablehighways.org/)
- Sistema de Calificación Greenroads, una manera simple de medir y gestionar la sostenibilidad de los proyectos de transporte que va más allá de las medidas de desempeño mínimo en materia ambiental, social y económica, y se somete a una revisión externa e independiente llevada a cabo por expertos (https://www.greenroads.org/publications)
- GreenLITES, un programa de autocertificación que clasifica proyectos y operaciones de transporte basándose en la medida en que incorporan opciones sostenibles; principalmente, se trata de un programa de gestión interna para el Departamento de Transporte del Estado de Nueva York para medir el desempeño, reconocer buenas prácticas e identificar la posibilidad de introducir mejoras (https://www.dot.ny.gov/programs/greenlites)

El sector privado también desarrolló algunos enfoques para evaluar temas relativos a la sostenibilidad y la inclusión social en proyectos como Valor Compartido y Principios Ecuatoriales. Además, los Estándares de Desempeño de IFC se usan para proteger a las poblaciones vulnerables, mitigar los posibles impactos negativos del desarrollo de la infraestructura y proveer un canal formal de comunicaciones para quienes se vean afectados por el proyecto.

sociales (edad, ingresos, género, capacidad). Por este motivo, para poder identificarlos y comprenderlos mejor conviene analizarlos como parte de un marco de evaluación inicial más amplio (Jones y Lucas, 2012). Si bien hay muchas herramientas y sistemas de clasificación disponibles para analizar los aspectos sociales y otros aspectos relativos a la sostenibilidad en proyectos de transporte (véase el recuadro 14.5), el marco clave para todo proyecto ferroviario urbano debe ser la EIAS.

Evaluación del impacto ambiental y social

La EIAS es una herramienta fundamental para identificar y mitigar los posibles impactos negativos de los proyectos ferroviarios urbanos. La realización de una

RECUADRO 14.6.

El Marco Ambiental y Social del Banco Mundial

El Marco Ambiental y Social del Banco Mundial aprobado en 2016 ofrece normas ambientales y sociales diseñadas para evitar, minimizar y mitigar los impactos adversos de las inversiones respaldadas por el Banco Mundial. Se trata de la primera política que requiere una evaluación del impacto social (EIS) por separado. En él se pone gran énfasis en temas sociales más amplios como la inclusión social, el género y las condiciones laborales y de trabajo, y se introduce el consentimiento previo, libre e informado para las poblaciones indígenas. Asimismo, se integra un enfoque de gestión de riesgos para los proyectos con mayor énfasis en la participación de los grupos de interés, la gestión adaptable de riesgos y los marcos de gestión ambiental y social del prestatario (Banco Mundial, 2016).

En particular, se define un enfoque de riesgo de cinco pasos que incluye lo siguiente:

1. la naturaleza del proyecto ferroviario urbano;
2. las acciones de terceros, como la coordinación interinstitucional para el cumplimiento en materia ambiental y social;
3. el riesgo contextual más amplio que puede estar asociado con problemas heredados específicos, como la falta de confianza en las entidades públicas, la oposición política y el conflicto sobre el espacio público;
4. la vulnerabilidad o los impactos adversos que pueden afectar desproporcionadamente a los grupos pobres o vulnerables, por ejemplo, los vendedores callejeros;
5. la capacidad y el compromiso que son fundamentales para manejar de manera eficaz los problemas sociales y ambientales de los proyectos, y que incluyen sistemas de gestión social, un mecanismo de resolución de reclamos y planes de presentación de informes y supervisión, entre otros.

En resumen, el complejo contexto de los proyectos ferroviarios urbanos hace necesario un sistema flexible y adaptable de gestión social y ambiental, en el cual el nivel de esfuerzo para gestionar los riesgos sea proporcional al grado de riesgos que conllevan los proyectos de infraestructura.

EIAS es un requisito para los proyectos patrocinados por bancos multilaterales en cumplimiento de normas y políticas de salvaguarda (véase el recuadro 14.6). El primer paso consiste en identificar los posibles impactos negativos que los proyectos de infraestructura pueden generar a través de una EIS sólida y participativa que se pueda combinar con la EIAS o presentarse en un documento separado. La EIS permite identificar los problemas sociales relacionados con el desarrollo del proyecto, y sus planes y procesos de gestión. Incluye la gestión eficaz de las comunidades afectadas en los procesos participativos de identificación, evaluación y gestión de los impactos sociales (Vanclay y otros, 2015). Entre los impactos sociales se incluyen todos los temas asociados con una intervención planificada (por ejemplo, un proyecto ferroviario urbano) que afectan o involucran a personas, ya sea directa o indirectamente, y que se pueden acumular a lo largo del tiempo (Vanclay, 2003). Estas evaluaciones se pueden llevar a cabo en diferentes momentos durante la planificación y el diseño del proyecto. Sin embargo, el objetivo es identificar todos los impactos posibles, y minimizar y mitigar los posibles efectos negativos futuros del proyecto antes de la construcción y la operación.

A fin de mitigar numerosos problemas sociales y posibles costos superiores a los previstos en los proyectos ferroviarios urbanos, los organismos de ejecución de proyectos deben considerar la EIS desde la planificación del proyecto y el diseño preliminar. En algunos casos, la distribución alternativa de las rutas, así como el diseño o la ubicación de las estaciones, si se identifican inicialmente con el aporte de las comunidades locales, pueden reducir la necesidad de adquirir terrenos o las actividades de reasentamiento involuntario, aminorar la oposición al proyecto y reducir la necesidad de compensar a las comunidades por el desplazamiento económico.

Análisis costo-beneficio

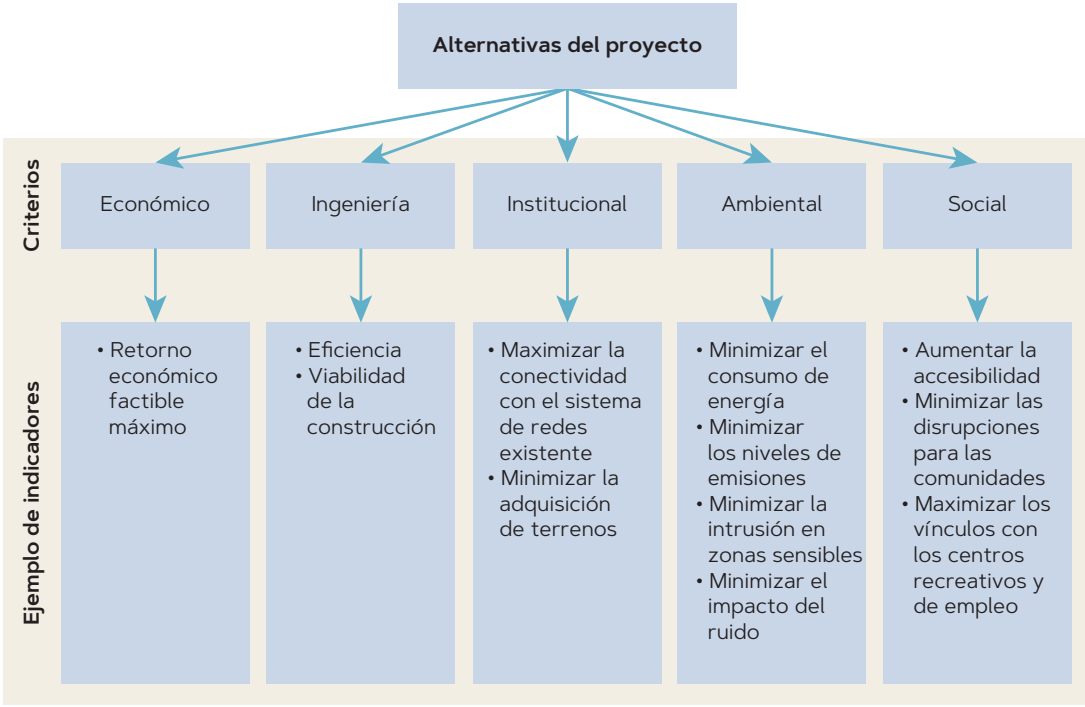
Para evaluar los impactos ambientales y sociales de las inversiones en transporte se utilizan técnicas de análisis costo-beneficio (ACB) y análisis multicriterio (AMC). En el ACB que se realiza durante la etapa del proyecto ferroviario urbano correspondiente al análisis de alternativas y el estudio de factibilidad se tiende a poner el acento principalmente en el análisis de factores económicos, financieros y de ingeniería, y se suelen pasar por alto los impactos sociales, que son complejos y, en ocasiones, difíciles de monetizar. En la planificación temprana del proyecto, la identificación de los costos sociales generalmente se limita a los costos de adquisición de terrenos. En el capítulo 3 se analiza la utilidad de la herramienta de ACB para comprender los impactos positivos y negativos de los proyectos ferroviarios urbanos y otros proyectos de transporte público de alta

capacidad. Para evaluar los impactos sociales a un nivel más detallado y desglosado, el AMC es más adecuado que el ACB. Esto se debe a que el ACB solo incluye valores monetarios, mientras que el AMC puede incluir consideraciones cualitativas y cuantitativas, que permiten describir mejor la naturaleza de la mayoría de los efectos sociales y ambientales que a veces resultan difíciles de monetizar.

Análisis multicriterio

El uso de técnicas de AMC en las que se analizan de igual manera los aspectos sociales, institucionales, económicos y de ingeniería de los proyectos ferroviarios urbanos puede ayudar a minimizar las cuestiones sociales negativas, como la adquisición de terrenos (Sharifi y otros, 2006). En el gráfico 14.3 se ilustran las diversas consideraciones económicas, institucionales, ambientales, sociales y de ingeniería que se incluyen en el desarrollo de un AMC y se presenta una serie de alternativas posibles para guiar a los

GRÁFICO 14.3. Análisis de alternativas del proyecto conforme a un marco de análisis multicriterio



Fuente: Adaptado de Sharifi y otros, (2006).

organismos de ejecución de proyectos a tomar las decisiones más adecuadas para la planificación, la construcción y la operación de los proyectos ferroviarios urbanos.

Las técnicas de AMC requieren estudios detallados para cada tramo de la línea ferroviaria urbana y su zona de influencia. Para cada tramo, un AMC representa los principales objetivos del proyecto, integra diferentes valores de referencia socioeconómicos y prepara inventarios de propiedades físicas, sociales y culturales, y características ambientales. Si bien el AMC es fundamental para comprender las alternativas entre las consideraciones económicas y de ingeniería, así como los impactos ambientales y sociales, suele requerir una gran cantidad de datos de diversas características. Es posible que los organismos de ejecución de proyectos en regiones metropolitanas que emprenden su primer proyecto ferroviario urbano no cuenten con estos datos o que los datos disponibles sean obsoletos. A la hora de realizar los diversos análisis, lo primero que se debe hacer es investigar las fuentes de datos existentes. En algunos casos, los organismos de ejecución de proyectos pueden tener que esperar los resultados de nuevos sondeos; en otros, es posible que deban recopilar datos nuevos ellos mismos, para lo que se requiere de tiempo y recursos.

Sistemas de gestión ambiental y social

Un SGAS es una herramienta estructurada que incluye un conjunto de políticas, procedimientos y procesos para gestionar los riesgos y los impactos ambientales y sociales. Se trata de un proceso iterativo de revisión, corrección y mejora de la manera en que se gestionan los riesgos de un proyecto (Corporación Financiera Internacional [IFC], 2014). Sus componentes básicos están orientados a evaluar, controlar y mejorar el desempeño ambiental y social del proyecto de manera constante (véase el cuadro 14.2).

Planes de gestión ambiental y social

El PGAS es una herramienta que se utiliza para gestionar temas ambientales y sociales. En él se definen los procedimientos y las actividades de gestión ambiental y social específicos para los distintos componentes y las distintas partes interesadas del proyecto, teniendo en cuenta las leyes y regulaciones nacionales y locales y los contratos de concesión pertinentes. En los proyectos en los que se emplea financiamiento internacional, el PGAS puede incluir además los estándares de las instituciones financieras (por ejemplo, el Marco Ambiental y Social del Banco Mundial, los Estándares de Desempeño de IFC y los Requisitos de Desempeño del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo).

CUADRO 14.2. Componentes principales de un sistema de gestión ambiental y social

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Política	Resume el compromiso que el organismo de ejecución del proyecto o el contratista asumió con respecto a la gestión de los riesgos y los impactos ambientales y sociales, y establece las expectativas de comportamiento en todos los aspectos relacionados con el proyecto. Las políticas pueden hacer referencia a leyes nacionales clave y estándares reconocidos internacionalmente (por ejemplo, los Estándares de Desempeño de IFC).
Identificación de riesgos e impactos	Permite identificar los posibles impactos ambientales y sociales negativos con el fin de elaborar las estrategias adecuadas para abordarlos.
Programas de gestión	Emplea planes de acción y procedimientos para evitar, minimizar o compensar los riesgos y los impactos identificados.
Capacidad y competencia organizativa	Implica tener personal capacitado y comprometido con los recursos adecuados.
Preparación y respuesta ante situaciones de emergencia	Garantiza la preparación para responder eficazmente a fin de evitar y mitigar todo daño a los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente.
Compromiso de los grupos de interés	Implica interactuar con las comunidades afectadas a fin de identificar y gestionar los impactos negativos; se trata de una oportunidad para generar confianza, credibilidad y apoyo, y también para identificar oportunidades que permitan mejorar los impactos positivos.
Mecanismos externos de comunicación y reclamos	Se refiere al establecimiento y mantenimiento de un canal de dominio público y de fácil acceso para que los grupos de interés se comuniquen con el proyecto (número de teléfono, dirección de correo electrónico, sitio web); se implementan mecanismos de reclamos para establecer una manera en la que los individuos o grupos afectados por el proyecto registren una consulta, una inquietud o un reclamo formal.
Generación continua de informes sobre las comunidades afectadas	Hace referencia a mantener informadas a las comunidades afectadas sobre lo que está sucediendo con el proyecto, lo que representa un elemento fundamental para generar y mantener relaciones positivas y productivas con la comunidad.
Seguimiento y revisión	Permite controlar el sistema y que la administración realice ajustes.

Fuente: IFC, 2014.

RECUADRO 14.7.

El valor de la gestión de riesgos sociales y ambientales en proyectos de infraestructura

Abordar la gestión de riesgos sociales y ambientales como una dimensión fundamental del desarrollo sostenible de los proyectos aporta un gran valor para el proyecto. Ante todo, una gestión adecuada de los riesgos sociales y ambientales puede facilitar la obtención de la licencia social para operar, lo que puede dar como resultado menores costos comerciales. Además, puede reducir las demoras del proyecto, los costos superiores a los previstos y el riesgo para la reputación de los inversionistas (Stapledon, 2012).

En América Latina, algunos países han implementado políticas y procedimientos relevantes para abordar la sostenibilidad social de los proyectos de infraestructura, pero aún falta mucho por hacer. Las dimensiones de la ejecución de proyectos relacionadas con la sostenibilidad social aún no se comprenden ni se analizan como es debido.

Las consideraciones sociales siguen revistiendo poca importancia para los responsables de la toma de decisiones, salvo que representen una amenaza directa para la ejecución del proyecto (Geurs, Boon y van Wee, 2009). Como resultado, los estudios de factibilidad en América Latina (y en otras regiones) tienden a enfocarse en la ingeniería y en el análisis financiero y económico, y se suelen pasar por alto otros aspectos contundentes como las EIAS, los análisis de alternativas, la participación de los grupos de interés y el consentimiento previo, libre e informado.

Prestar atención a estos temas podría ayudar a evitar, reducir o compensar los impactos negativos. Según la experiencia del Banco Mundial, en los estudios de factibilidad a veces no se evalúan adecuadamente los emplazamientos de los proyectos, sus condiciones imprevistas —como las actividades sociales y económicas y los servicios públicos existentes—, ni, lo que es más importante, el riesgo contextual. Los estudios de factibilidad deben incluir las características ambientales y sociales propias del proyecto a fin de analizar adecuadamente sus posibles impactos distributivos sobre diversos grupos sociales, tanto espacial como temporalmente.

El plan de gestión social puede ser un documento independiente o estar integrado en el plan de gestión ambiental. En el plan de gestión social de los proyectos ferroviarios urbanos se deben considerar todos los pasos del proceso de desarrollo de proyectos, comenzando con la planificación y el diseño. Durante el análisis de alternativas y la planificación temprana del proyecto se deben realizar investigaciones de campo detalladas, identificar impactos y establecer objetivos sociales, lo que puede ayudar a reducir los riesgos e identificar programas de gestión (véase el recuadro 14.7). Durante la construcción se debe implementar una serie de planes para comunicar la manera en que el organismo de ejecución del proyecto gestionará los temas sociales que incluyen desde el reasentamiento involuntario hasta la manera de abordar reclamos y quejas. Por último, durante las operaciones se debe realizar un seguimiento periódico de los planes y programas.

La importancia de la participación de la comunidad y de los grupos de interés

La participación de los grupos de interés es fundamental para cualquier proyecto categorizado como megaproyecto (una inversión a gran escala que se caracteriza por la complejidad en términos técnicos y humanos). Los proyectos ferroviarios urbanos se consideran megaproyectos que integran una gran cantidad de grupos de interés, entre las que se incluyen diferentes niveles del Gobierno y varios organismos del sector público, socios del sector privado como empresas de construcción, contratistas y subcontratistas, y comunidades con residentes y negocios. La participación de los grupos de interés es un proceso de comunicación continua que implica la divulgación de información, la consulta con las comunidades afectadas y no afectadas, y el establecimiento de canales de comunicación y de mecanismos de reclamos.

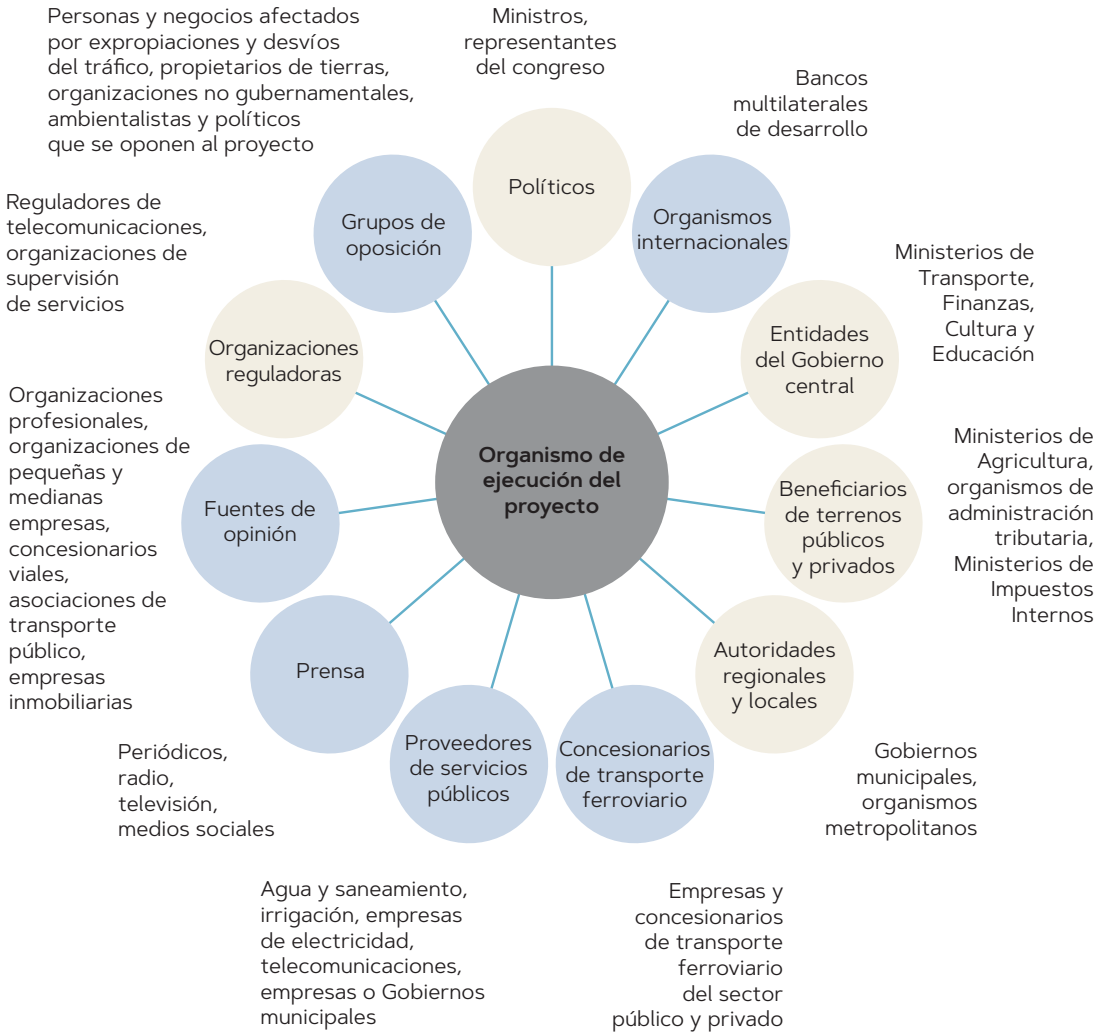
La calidad y el grado de participación de la comunidad y los grupos de interés, y el nivel de riesgo social pueden generar aumentos en los costos o incluso deficiencias en los proyectos ferroviarios urbanos. El hecho de identificar a los grupos de interés y de invitarlos a que participen sistemáticamente puede permitir mejorar el diseño de los proyectos, mitigar riesgos y generar confianza, credibilidad y apoyo local para los proyectos. Además, puede ayudar a reducir los riesgos de rechazo y las posibles alteraciones que pueden derivar en mayores costos (IFC, 2014). Mantener un canal de comunicación brinda la oportunidad de mitigar dificultades técnicas, financieras y políticas. Por lo tanto, la participación de los grupos de interés debe abordarse como una oportunidad de agregar valor mediante la adaptación del proyecto a las necesidades de las comunidades locales y como un camino para mitigar proactivamente la oposición y generar apoyo.

Identificación de los grupos de interés

Identificar y mapear los principales grupos de interés del proyecto y sus objetivos es el primer paso para entablar una relación exitosa y mantener los canales de comunicación estratégicos (véase el gráfico 14.4). Los grupos de interés (desde organizaciones no gubernamentales hasta expertos en la materia) deben incluirse en la planificación y el desarrollo general del proyecto.

El siguiente paso consiste en desarrollar un plan estratégico de participación que ayudará a guiar al organismo de ejecución del proyecto en lo que respecta a la interacción con cada uno de los grupos de interés. El plan de participación debe comunicar los aspectos positivos y negativos del proyecto, brindando a los

GRÁFICO 14.4. Relaciones complejas entre los grupos de interés de un proyecto ferroviario urbano



a. Entre los bancos multilaterales de desarrollo se incluyen el Banco Mundial, el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, el Banco de Desarrollo de América Latina, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Alemán de Desarrollo y el Organismo Francés de Desarrollo.

grupos de interés suficiente información para comprender cómo se verán afectados por el proyecto.

Consultas y comunicaciones estratégicas

Después de la interacción con el público, contar con un proceso iterativo de consultas, desde la planificación temprana del proyecto hasta las operaciones, es uno de los aspectos más importantes de la gestión de proyectos. Mediante las consultas, los posibles beneficiarios (usuarios del transporte ferroviario) o quienes asumen los costos pueden plantear sus inquietudes y expresar sus opiniones sobre un proyecto específico. Las consultas son útiles para identificar posibles riesgos y oportunidades de mejora del diseño, la construcción y la operación del transporte ferroviario urbano. Para que las consultas con los grupos de interés afectados sean eficaces, es importante considerar lo siguiente:

- comenzar temprano;
- divulgar información significativa y precisa;
- utilizar medios culturalmente adecuados para llegar a la audiencia;
- brindar oportunidades para un diálogo bidireccional;
- seguir de cerca los problemas que surgen y poner en marcha mecanismos de resolución de reclamos;
- generar informes sobre cómo se usaron y se consideraron los aportes de los grupos de interés (IFC, 2014).

Las comunicaciones desempeñan un papel fundamental durante la planificación, el diseño, la construcción y la operación de los sistemas de transporte público urbano. Las soluciones de comunicaciones estratégicas que ofrecen un enfoque sistemático para la comunicación y comercialización de los servicios de transporte para usuarios y no usuarios suelen formar parte del plan de participación de los grupos de interés. Durante la planificación y el diseño, es fundamental cambiar la percepción del público con respecto al transporte público para generar apoyo al proyecto (ITDP, 2017). Durante la construcción del proyecto, las comunicaciones juegan un papel destacado, ya que permiten obtener información actualizada sobre actividades de construcción, rutas alternativas y otras interrupciones del tráfico. Los proyectos planificados y diseñados eficazmente incluyen planes de comunicación estratégica que permiten hacer lo siguiente:

- Informar a los ciudadanos afectados sobre la reubicación y el desplazamiento de las actividades económicas durante la planificación.

IMAGEN 14.5. Oficina de información: metro de Lima

Fuente: © Carlos Pérez-Brito. Reproducido con permiso; se requiere un permiso adicional para su reutilización.

IMAGE 14.6. Puesto de información permanente: estación de metro Quitumbe, Quito

Fuente: © Metro de Quito.

- Informar y supervisar los impactos de la construcción y los desvíos del tráfico.
- Comunicar los cambios en los servicios de transporte público.
- Desarrollar actividades de difusión a nivel de la comunidad a fin de comunicar a los ciudadanos el proceso para la recepción y la gestión de reclamos. Los organismos de ejecución de proyectos deben elaborar planes de comunicación estratégica antes de comenzar la construcción de la línea ferroviaria urbana.

Un plan de comunicación estratégica exitoso incluye el uso de medios de comunicación (televisión y radio) y redes sociales, comunicaciones impresas (folletos y carteles), y la implementación de oficinas y sitios de información permanente. En muchos casos, los organismos de ejecución de proyectos también brindan servicios de comunicación en ubicaciones estratégicas como futuras estaciones o estaciones de autobuses interregionales (véanse las imágenes 14.5 y 14.6).

El desarrollo de relaciones con los medios puede mejorar la manera en que los usuarios ven a los sistemas de transporte público (Weber, Arpi y Carrigan, 2011) e incluso puede ayudar a atraer a no usuarios. El asesoramiento estratégico para los operadores de transporte público con el fin de mejorar las comunicaciones y relaciones públicas incluye lo siguiente:

- adaptar las comunicaciones a los periodistas interesados en diferentes temas, como salud, medio ambiente y operaciones;
- invitar a periodistas a realizar viajes de estudio;
- obtener la aprobación de los defensores del transporte público;
- evitar las críticas y anticiparse a ellas ofreciendo a las comunidades la mayor cantidad posible de información y permitir canales de comunicación bidireccional;
- manejar las expectativas de los futuros usuarios sin sobrestimar los beneficios;
- diseñar un plan amplio de relaciones públicas para informar sobre la ejecución del proyecto (Weber, Arpi y Carrigan, 2011).

RECUADRO 14.8.

Generación de la cultura metro: Medellín, Colombia

La cultura metro en Medellín es entendida como el resultado del modelo de gestión social, educativo y cultural que el metro ha construido, consolidado y entregado a la ciudad. El objetivo era generar una cultura basada en los principios, los valores, el idioma y los comportamientos compartidos que representen responsabilidad y armonía. En 1994, la empresa pública Metro propuso generar una nueva cultura en los habitantes de la zona metropolitana de Medellín a fin de consolidar relaciones de confianza con las estaciones y líneas de metro vecinas y generar un sentido de pertenencia, cuidado y preservación del sistema ferroviario. El sistema de metro tenía como objetivo convertirse no solamente en un operador de transporte público, sino también en un agente de transformación de la movilidad en la ciudad. El modelo se creó con el propósito de construir una nueva cultura cívica (convivir en armonía) y fomentar el buen comportamiento dentro (y fuera) del sistema de transporte, la solidaridad, el respeto de las normas básicas para el uso del espacio público y el respeto propio, entre otras cosas.

La creación de dicha cultura ha dado como resultado una filosofía ciudadana que incentiva el respeto en el uso del espacio público, el respeto por los demás y un sentido de armonía en la ciudad (véase la imagen B14.8.1). Metro de Medellín incluso va un paso más allá, dado que ofrece capacitación a los usuarios para incentivar el buen comportamiento, promueve la ayuda y el respeto a los demás, ofrece eventos culturales para educar a usuarios y no usuarios, y organiza otros eventos comunitarios a fin de incentivar y reforzar la cultura metro.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 14.8.

Generación de la cultura metro: Medellín, Colombia *(Continuación)*

IMAGEN B14.8.1. Pasajeros esperando respetuosamente un tren del metro: Medellín, Colombia

Fuente: © Metro de Medellín. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Un modelo exitoso de comunicaciones sociales y corporativas estratégicas y de posicionamiento de marca es el proyecto "cultura metro" de Medellín (véase el recuadro 14.8).

Desarrollar un plan eficaz de comunicaciones puede ser extremadamente útil durante la operación para informar a los usuarios sobre las características de los servicios de transporte ferroviario urbano y explicar las interrupciones de los servicios. Por ejemplo, elaborando materiales de comunicación con buenos recursos narrativos y visuales se puede informar a los usuarios del transporte ferroviario urbano que un ascensor no funciona bien y que el operador está trabajando arduamente para repararlo. Los usuarios son más propensos a tolerar los inconvenientes si se los mantiene informados y si sienten que se están teniendo en cuenta sus necesidades.

Conclusiones y recomendaciones

La gestión de los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos implica importantes desafíos, pero también genera oportunidades extraordinarias para que participen las comunidades locales, lo que permite agregar valor al diseño de los proyectos y lograr que se les brinde apoyo. Los organismos de ejecución de proyectos y los responsables de la toma de decisiones deben abordar y gestionar la comunicación con los grupos de interés y los impactos sociales desde las primeras etapas del proyecto. Las complejidades sociotécnicas de los proyectos ferroviarios urbanos requieren de contundentes análisis sociales, sólidas medidas de mitigación, seguimiento minucioso y sistemas de gestión rigurosos. Aunque las organizaciones financieras multilaterales, como el Banco Mundial, pueden ayudar a sus clientes en este proceso, todas las partes involucradas en la ejecución de los proyectos ferroviarios deben estar comprometidas con la sostenibilidad social. Los impactos sociales de un proyecto no se pueden abordar como si fueran un aspecto secundario; la gestión de los riesgos y los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos constituye una prioridad, tal como lo demandan los contextos sociales en los que los proyectos se planifican, diseñan, construyen y operan. A continuación se indican algunas de las principales recomendaciones para evaluar los riesgos y los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos.

La ejecución de proyectos ferroviarios urbanos representa impactos sociales considerables debido a su naturaleza lineal y urbana. Los proyectos ferroviarios urbanos están intrínsecamente vinculados con las dimensiones urbanas y espaciales. Por este motivo, como parte de la evaluación social se deben considerar los distintos impactos y riesgos relacionados con el espacio (estaciones, vecindarios), el tiempo (impactos temporales, como el tiempo de construcción, el ruido y el flujo de mano de obra) y los grupos poblacionales (edad, ingresos, género, discapacidades). Estas características representan importantes desafíos en lo que respecta a la identificación de impactos sociales, dado que pueden adoptar diversas formas y variar según el tramo o la estación.

Es fundamental identificar y abordar los posibles impactos negativos de los proyectos ferroviarios urbanos en las primeras etapas del proceso de diseño. El objetivo es evitar los impactos sociales, reducir los efectos negativos cuando no sea posible evitarlos e implementar actividades que permitan restaurar, rehabilitar o remediar las actividades sociales y los entornos afectados. Algunos de los impactos sociales más recurrentes en los proyectos ferroviarios urbanos incluyen los siguientes:

- adquisición de terrenos y reasentamiento;
- desplazamiento económico de negocios formales e informales;
- impactos visuales;
- impactos en el patrimonio histórico y cultural;
- cambios en la accesibilidad para varias zonas de la región metropolitana o grupos sociodemográficos y durante diferentes momentos del día.

Abordar y gestionar los riesgos sociales y ambientales puede reducir las barreras, las demoras y los costos vinculados a la ejecución. En muchos casos, en los proyectos ferroviarios urbanos se pasan por alto la elaboración de EIAS sólidas, el análisis de alternativas, la participación de grupos de interés y el consentimiento previo, libre e informado. Según la experiencia del Banco Mundial, en los estudios de factibilidad a veces no se evalúan adecuadamente los emplazamientos de los proyectos ni sus condiciones imprevistas que incluyen actividades sociales y económicas y servicios públicos existentes, pero quizás lo más importante es que no se analiza el riesgo contextual. Prestar atención a estos temas puede ayudar a evitar, reducir o compensar los impactos ambientales y sociales negativos.

El análisis multicriterio es útil para registrar los efectos sociales y ambientales de los proyectos ferroviarios urbanos que son difíciles de monetizar. A fin de mitigar numerosos problemas sociales y posibles costos superiores a los previstos en los proyectos ferroviarios urbanos, los responsables de la toma de decisiones y los organismos de ejecución de proyectos deben considerar la posibilidad de analizar distintas alternativas para reducir la necesidad de comprar terrenos o de llevar a cabo actividades de reasentamiento involuntario y evitar el posible desplazamiento económico. El uso de técnicas de AMC en las que se analizan de igual manera los aspectos sociales, institucionales, económicos y de ingeniería de los proyectos ferroviarios urbanos puede ayudar a minimizar eficazmente problemas sociales importantes, como la adquisición de terrenos.

La participación de la comunidad y de los grupos de interés es de fundamental importancia para identificar y mitigar los impactos sociales de los proyectos ferroviarios urbanos y para generar apoyo al proyecto. La participación de los grupos de interés es un tema importante en los proyectos ferroviarios urbanos. Estos son megaproyectos que integran una gran cantidad grupos de interés, desde los Gobiernos locales y nacionales hasta empresas del sector privado y comunidades. La participación de dichos actores es un proceso

continuo que implica la divulgación de información, la consulta con las comunidades afectadas y no afectadas, y el establecimiento de canales de comunicación y de mecanismos de reclamos.

Todo proyecto ferroviario urbano requiere la implementación de un sistema de gestión ambiental y social. El SGAS es una herramienta estructurada que incluye un conjunto de políticas, procedimientos y procesos para gestionar los riesgos y los impactos ambientales y sociales. El SGAS permite a los organismos de ejecución de proyectos continuar con el proceso de revisión, corrección y mejora de la manera en que se gestionan los riesgos de los proyectos.

Notas

El autor desea agradecer a Barbara Donaldson y Ramiro Alberto Ríos por su apoyo a la investigación y sus aportes de contenidos. También desea agradecer a los revisores Rodolfo Tello, del Banco Interamericano de Desarrollo; Jorge Villegas, Joanna Moody, Gerald Ollivier y Arturo Ardila-Gómez, del Banco Mundial; Juan Antonio Márquez Picón de Metro de Madrid, y Dionisio González e Yves Amsler, de la Unión Internacional de Transporte Público, por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

1. El Banco Mundial y el Instituto de Recursos Mundiales publicaron recientemente un módulo de capacitación sobre cómo aprovechar el desarrollo orientado al transporte, la captura del valor del suelo y la reinversión en viviendas asequibles como respuesta a la gentrificación https://collaboration.worldbank.org/content/sites/collaboration-for-development/en/groups/tod-cop/documents.entry.html/2018/02/12/wb_wri_tod_corridor-LMFy.html

Bibliografía

Barton, Michael (2016), "An Exploration of the Importance of the Strategy Used to Identify Gentrification", en *Urban Studies* 53 (1): pp. 92-111, http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0042098014561723.

Calden, David y Peter Chamley (2010), "International Perspective", en *Megaprojects: Challenges and Recommended Practices*, capítulo 12, editado por David J. Hatem y David H. Corkum, Washington, DC: American Council of Engineering Companies.

Administración Estadounidense de Carreteras (FHWA) (2015), *Guidelines for the Visual Impact Assessment of Highway Projects,* Washington, DC: FHWA, https://www.environment.fhwa.dot.gov/env_topics/other_topics/VIA_Guidelines_for_Highway_Projects.aspx.

Geurs, Karst T., Wouter Boon y Bert van Wee (2009), "Social Impacts of Transport: Literature Review and the State of the Practice of Transport Appraisal in the Netherlands and the United Kingdom", en *Transport Review* 29 (1): pp. 69-90, http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441640802130490.

Corporación Financiera Internacional (IFC) (2014), *Environmental and Social Management System Implementation Handbook: Construction,* Washington, DC: IFC, https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/esms_implementation_handbook-construction

Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo (ITDP) (2017), *The BRT Planning Guide*. Nueva York, NY: ITDP, https://www.itdp.org/the-brt-planning-guide/.

Jones, Peter y Karen Lucas (2012), "The Social Consequences of Transport Decision-Making: Clarifying Concepts, Synthesising Knowledge, and Assessing Implications", en *Journal of Transport Geography* 21 (marzo): pp. 4-16, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692312000166.

Litman, Todd (2016), *Evaluating Transportation Land Use Impacts: Considering the Impacts, Benefits, and Costs of Different Land Use Development Patterns*, Victoria, Australia: Victoria Transport Policy Institute, http://www.vtpi.org/landuse.pdf.

Lozano-Gracia, Nancy, Cheryl Young, Somik Lall y Tara Vishwanath (2013), *Leveraging Land to Enable Urban Transformation: Lessons from Global Experience*, documento de trabajo sobre investigaciones relativas a políticas WPS6312, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/249541468330350173/pdf/wps6312.pdf.

Mathur, Hari Mohan, ed. (2016), *Assessing the Social Impact of Development Projects: Experience in India and Other Asian Countries,* Cham, Suiza: Springer International Publishing, http://www.springer.com/us/book/9783319191164.

Muñoz, Juan Carlos y Laurel Paget-Seekins, comps. (2016), *Restructuring Public Transport through Bus Rapid Transit*, University of Bristol, Reino Unido: Policy Press.

Oficina de Gestión de Proyectos Ferroviarios de Nanchang (NCRT) (2013), *Line 2 Corridor from Hongjiaozhou Depot to Xinjiaan Station: Resettlement Action Plan,* http://documents.worldbank.org/curated/en/554981468215686551/pdf/RP13910v10REVI030Nanchang0RAP0Final.pdf.

Pérez-Brito, Carlos y Rafael Acevedo-Daunas (2015), "Assessing Social Impacts of Urban Transport Projects", en *Urban Innovation*, Guangzhou, China: Guangzhou Institute for Urban Innovation.

Pollalis, Spiro N., Andreas Georgoulias, Stephen J. Ramos y Daniel Schodek, comps. (2012), *Infrastructure Sustainability and Design*, Nueva York, NY: Routledge.

Quiroga, Ricardo y Joseph Milewski (2007), *Implementation Guidelines for the Environment and Safeguards Compliance Policy,* documento de política y estrategia sectorial ENV-151, Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo, http://www.iadb.org/document.cfm?id=35597106.

Roquet, Vincent, Luciano Bornholdt, Karen Sirker y Jelena Lukic (2015), *Urban Land Acquisition and Involuntary Resettlement: Linking Innovation and Local Benefits*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/434371468329100370/Urban-Land-Acquisition-and-Involuntary-Resettlement-linking-innovation-and-local-benefits-case-study-report.

Sharifi, Mohammad Ali, Luc Boerboom, K. B. Shamsudin y Loga Veeramuthu (2006), "Spatial Multiple Criteria Decision Analysis in Integrated Planning for Public Transport and Land Use Development Study in Klang Valley, Malaysia", artículo presentado en "Technical Commission II Symposium", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Viena, Austria, 12 al 14 de julio, http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/part2/pdf/sharifi.pdf.

Stapledon, Tony (2012), *Why Infrastructure Sustainability Is Good for Your Business,* Brisbane, Australia: Cooperative Research Center for Infrastructure and Engineering Asset Management (CIEAM), http://www.wfeo.org/wp-content/uploads/infrastructure_sustainability_guideline.pdf.

Vanclay, Frank (2003), "International Principles for Social Impact Assessment", en *Impact Assessment and Project Appraisal* 21 (1): pp. 5-12, http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3152/147154603781766491.

Vanclay, Frank, Ana Maria Esteves, Ilse Aucamp y Daniel M. Franks (2015), *Social Impact Assessment: Guidance for Assessing and Managing Social Impacts of Projects*, Fargo, ND: International

Association for Impact Assessment (IAIA), http://www.iaia.org/uploads/pdf/SIA_Guidance_Document_IAIA.pdf.

Weber, Erik, Ethan Arpi y Aileen Carrigan (2011), *From Here to There: A Creative Guide to Making Public Transport the Way to Go*, Washington, DC: EMBARQ, http://www.wrirosscities.org/sites/default/files/From-Here-to-There-EMBARQ.pdf.

Banco Mundial (2004), *Involuntary Resettlement Sourcebook: Planning and Implementation in Development Projects,* Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/206671468782373680/pdf/301180v110PAPE1ettlement0sourcebook.pdf.

—— (2016), *The World Bank Environmental and Social Framework*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/383011492423734099/pdf/114278-REVISED-Environmental-and-Social-Framework-Web.pdf.

Zuk, Miriam, Ariel H. Bierbaum, Karen Chapple, Karolina Gorska, Anastasia Loukaitou-Sideris, Paul Ong y Trevor Thomas (2015), "Gentrification, Displacement, and the Role of Public Investment: A Literature Review", University of California, Berkeley, http://iurd.berkeley.edu/uploads/Displacement_Lit_Review_Final.pdf.

Lecturas adicionales

Banco Asiático de Desarrollo (BAsD) (2012), *Involuntary Resettlement Safeguards: A Planning and Implementation Good Practice Sourcebook*, Manila, Filipinas: BAsD, https://www.adb.org/documents/involuntary-resettlement-safeguards-planning-and-implementation-good-practice-sourcebook-d.

Campbell, Ian (2009), *Physical Cultural Resources Safeguard Policy: Guidebook*, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/520411468149683036/Physical-cultural-resources-safeguard-policy-guidebook.

Administración Federal de Transporte (FTA) (2011), *Transit Noise and Vibration Impact Assessment*, Washington, DC: FTA, https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/FTA_Noise_and_Vibration_Manual.pdf.

Janoschka, Michael, Jorge Sequera y Luis Salinas (2014), "Gentrification in Spain and Latin America—A Critical Dialogue", en *International Journal of Urban and Regional Research* 38 (4): pp. 1234-65, http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1468-2427.12030/pdf.

Markovich, Julia y Karen Lucas (2011), "The Social and Distributional Impacts of Transport: A Literature Review", University of Oxford, Oxford, Reino Unido, http://www.tsu.ox.ac.uk/pubs/1055-markovich-lucas.pdf.

Moody, Joanna (2016), *Development of a Predictive Coalition Building Analysis for Stakeholders of Sociotechnical Systems*, tesis de maestría, Cambridge, MA: Instituto Tecnológico de Massachusetts, https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/104155

Perú, Ministerio de Transporte y Comunicaciones y Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE) (2014), *Proyecto "Construcción de la Línea 2 y Ramal Av. Faucett-Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao" Provincia de Lima y Callao, Región Lima: 1.era actualización del Plan de Compensación y Reasentamiento Involuntario (PACRI)*, Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Lima, http://documents.worldbank.org/curated/en/186791468332428412/pdf/RP17460SPANISH0Box385434B00PUBLIC0.pdf.

Wang, Chaogang y Zeynep Darendeliler (2013), *Conducting Social Assessments in Urban Transport Projects*, Social Development How-to Series, Washington, DC: Banco Mundial, http://documents.worldbank.org/curated/en/639831468168850419/Conducting-social-assessments-in-urban-transport-projects.

15 GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, LA SALUD Y LA SEGURIDAD

Robert Montgomery

Los proyectos ferroviarios urbanos ofrecen una opción de transporte sostenible que puede contribuir al desarrollo económico y brindar otros beneficios a la comunidad. Sin embargo, estos complejos proyectos suponen la construcción de grandes obras de infraestructura que requieren una importante cantidad de mano de obra, así como instalaciones y actividades de magnitud considerable para las operaciones. Por consiguiente, pueden conllevar impactos y riesgos significativos en la esfera del medio ambiente, la salud y la seguridad (MASS), los cuales deben gestionarse cuidadosamente a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto. Por este motivo, los impactos ambientales, de salud y de seguridad deben evaluarse —junto con los impactos sociales (capítulo 14), el desarrollo económico y el uso del suelo a lo largo del trazado (capítulo 16) y la resiliencia al cambio climático (capítulo 17)— durante los primeros pasos del desarrollo del proyecto, lo que incluye el análisis de alternativas (capítulo 3), la planificación del proyecto (capítulo 4) y el diseño (capítulo 5).

La ejecución de proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio plantea desafíos especiales en relación con una gestión de MASS eficaz y eficiente. Estos proyectos incluyen obras de construcción en zonas densamente pobladas, muchas de las cuales poseen un importante patrimonio cultural, sitios arqueológicos y espacios

Fotografía: Limpieza de la basura de las vías: India (2015). *Fuente:* John Samuel vía Flickr (CC BY-NC 2.0).

públicos y verdes relativamente limitados que son muy valorados por la comunidad. Sumado a la esencia disruptiva propia de la construcción en zonas urbanas (véase el capítulo 11), ciertas condiciones ambientales del entorno —como la congestión de tráfico, la mala calidad del aire local y la presencia de suelos y aguas subterráneas contaminados— pueden ser aspectos clave relacionados con la gestión de MASS en los proyectos ferroviarios urbanos. Por último, los proyectos ferroviarios urbanos suponen la participación de una gran variedad de entidades del sector público, empresas del sector privado e instituciones financieras, cada una de las cuales posee diferentes funciones y responsabilidades relativas a la gestión de MASS (por ejemplo, el cumplimiento de requisitos normativos o la protección del medio ambiente, los trabajadores y la comunidad).

Una sólida gestión de MASS en los proyectos ferroviarios urbanos brinda numerosos beneficios. Entre ellos se incluyen 1) la protección de los recursos naturales, el medio ambiente, los trabajadores y la comunidad; 2) la facilitación del cumplimiento de requisitos normativos y contractuales de una manera más eficiente; 3) una resolución más eficaz de los problemas de MASS; 4) el aumento de los beneficios ambientales; 5) la reducción de los costos del proyecto y los riesgos financieros; 6) la reducción del uso de materiales; 7) una mejor prevención de la contaminación; 8) la mejora de las relaciones con la comunidad y las percepciones en relación con el proyecto, y 9) la mejora de la viabilidad del financiamiento del proyecto.

El objetivo de la gestión de MASS es controlar de manera eficaz y eficiente todos los impactos y riesgos relacionados con MASS y mejorar la sostenibilidad ambiental del proyecto. La integración de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad en todos los pasos y las decisiones del desarrollo del proyecto es esencial, comenzando por la planificación y el diseño. El organismo de ejecución del proyecto realiza evaluaciones exhaustivas de todos los posibles impactos, riesgos (técnicos y financieros) y oportunidades de sostenibilidad relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad, ya sean directos, indirectos o acumulativos. Se recomienda un enfoque jerárquico de mitigación para la gestión de MASS a fin de 1) anticiparse a riesgos e impactos, y evitarlos; 2) minimizar o reducir riesgos e impactos a niveles aceptables cuando no sea posible evitarlos; 3) mitigar tales riesgos e impactos una vez que se los haya minimizado o reducido, y 4) compensar cuando se produzcan impactos residuales de consideración (Banco Mundial, 2016).

La gestión de MASS incluye diferentes componentes, como planes, procedimientos, seguimiento y supervisión, presentación de informes, definición de funciones y responsabilidades, y establecimiento de términos y condiciones adecuados en licitaciones y contratos. Estos componentes se documentan en el plan de gestión ambiental y social (PGAS) y en el sistema de gestión de MASS

(SGMASS), que se utiliza para gestionar los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, satisfacer obligaciones financieras y de cumplimiento, y abordar riesgos y oportunidades. Se recomienda un enfoque de gestión de MASS adaptable en el cual los diferentes detalles del proyecto se definan y finalicen con el tiempo. La adaptabilidad de la gestión de MASS se materializa a través de la respuesta, la corrección y la mejora en función de los resultados de las actividades de supervisión extensiva y los datos de los programas de seguimiento de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad.

En este capítulo se brinda una descripción general de la gestión de MASS en proyectos ferroviarios urbanos, incluidas la evaluación y la gestión de los posibles impactos y riesgos relacionados con MASS durante la planificación, el diseño, la construcción y la operación del proyecto. Los impactos y riesgos sociales y relacionados con MASS deben gestionarse de manera continua e integrada. No obstante, en este manual, la gestión de MASS se presenta por separado en este capítulo, mientras que la gestión de los aspectos sociales se aborda en el capítulo 14. En este capítulo, se hace hincapié en los aspectos clave de la gestión de MASS y en la sostenibilidad general relacionada con los proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio.

El medio ambiente, la salud y la seguridad en la planificación y el diseño de un proyecto

Es necesario dar la debida consideración a los aspectos ambientales, de salud y de seguridad durante todo el proceso de desarrollo del proyecto, pero particularmente durante la planificación y el diseño. La participación de especialistas en MASS con las calificaciones técnicas correspondientes en la revisión y la toma de decisiones preliminares del proyecto es fundamental para lograr una comprensión, consideración y gestión adecuadas de los impactos, los riesgos y las oportunidades del proyecto relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad. Esta participación debe ser permanente y colaborativa, e incluir a otros especialistas del proyecto, como planificadores, ingenieros y operadores, así como equipos financieros, jurídicos y de adquisiciones. En los casos donde la capacidad técnica interna del organismo de ejecución del proyecto en materia de MASS sea limitada, debe garantizarse la incorporación de expertos externos desde la misma planificación del proyecto a fin de garantizar una participación eficaz en relación con los aspectos ambientales, de salud y de seguridad. Las decisiones tomadas durante el diseño —como el método de construcción elegido (véase el capítulo 11) y el tipo de respuesta ante emergencias y los equipos de seguimiento— pueden contribuir a prevenir, minimizar y mitigar los posibles

impactos negativos y riesgos relativos a MASS. En la siguiente sección se analizan tres importantes áreas que deben considerarse en relación con los aspectos ambientales, de salud y de seguridad durante la planificación y el diseño del proyecto: el análisis de alternativas, la sostenibilidad ambiental, y los costos ambientales, de salud y de seguridad relacionados con el proyecto y la gestión de riesgos financieros.

Análisis de alternativas

La consideración de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad durante el análisis de alternativas es crucial. El análisis de alternativas incluye modos de transporte alternativo, rutas y selección de emplazamientos (trazados en planta), trazados en alzado y métodos de construcción alternativos. Es necesario para determinar el sistema de transporte público de alta capacidad más conveniente para satisfacer la demanda futura según las características de la ciudad y en función de diferentes criterios de MASS, sociales y económicos (véanse los capítulos 3 y 14). En este análisis debe adoptarse un marco de análisis multicriterio para registrar los beneficios y los costos tanto cuantitativos como cualitativos de las diferentes alternativas. Durante la planificación del proyecto, la evaluación permite comparar alternativas factibles para el proyecto, incluido un escenario "sin construcción", para determinar sus potenciales impactos y riesgos sociales y relacionados con MASS, y su factibilidad económica y financiera. Los criterios de MASS se incluyen en los términos de referencia para estudios de factibilidad y análisis de alternativas del proyecto con el propósito de garantizar la debida consideración de los posibles impactos, riesgos, beneficios y costos en términos de MASS.

A continuación se incluyen algunos ejemplos de criterios importantes que deben incluirse: 1) necesidades de terrenos, especialmente en el caso de zonas ambientales sensibles, 2) recursos arqueológicos y culturales, 3) posible contaminación del emplazamiento, 4) percepciones de la comunidad, 5) gestión de materiales (por ejemplo, selección, utilización, reutilización y reciclaje), 6) uso de energía y agua, 7) mejoras ambientales, 8) reutilización y eliminación final de la tierra extraída, 9) medidas innovadoras de protección y mitigación respecto de impactos y riesgos, 10) gestión de residuos, 11) reducción de impactos temporales (zonas de preparación y caminos de acceso), 12) gestión de contratistas, y 13) empleo local.

En cuanto a los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, las alternativas clave que deben evaluarse son: 1) trazados ferroviarios urbanos, 2) ubicación de estaciones, sistemas de ventilación y salidas de emergencia; y 3) métodos de construcción para las estaciones y los tramos de vía entre estaciones (véase el capítulo 11). Deben evaluarse alternativas a fin de reducir impactos o riesgos

considerables relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad. Por ejemplo, el uso de tuneladoras para la construcción subterránea en zonas históricas genera un menor nivel de vibraciones y asentamiento del terreno en edificaciones que otras técnicas de construcción subterránea. Las modificaciones de trazado menores en las estaciones pueden reducir considerablemente los impactos en árboles con importancia patrimonial (véase el recuadro 15.1). Otras alternativas podrían consistir en evitar o reducir los impactos en sitios considerados patrimonio arqueológico y cultural, reducir el tiempo de los desvíos de tráfico relacionados con la construcción de las estaciones, y reutilizar y reubicar la tierra extraída.

Es necesario que en la planificación del proyecto se incluya una estimación adecuada de los costos y beneficios en términos de MASS y sostenibilidad ambiental. Se deben definir las condiciones de MASS pertinentes para su inclusión en los documentos de licitación para la construcción o concesión del proyecto y en los contratos de los supervisores de construcción independientes. El financiamiento del proyecto —por ejemplo, de bancos multilaterales de desarrollo o bancos comerciales privados— debe incluir aspectos ambientales, de salud y de seguridad claros.

Sostenibilidad ambiental

El diseño del proyecto es un paso clave para la integración de medidas de sostenibilidad ambiental en el proyecto. El diseño de infraestructura sostenible favorece un desarrollo económico sólido, la creación de empleos y la adquisición de bienes y servicios locales; también promueve un uso más eficaz y eficiente de los recursos financieros. Una mejor sostenibilidad ambiental puede generar beneficios financieros y económicos, como una reducción en el volumen de residuos y el uso de materiales (por ejemplo, energía o agua), la prevención de la contaminación, una mejor gestión de la mano de obra (por ejemplo, una mayor retención y productividad), y mejores relaciones con la comunidad y percepciones en relación con el proyecto (Hirsch, Montgomery y Schirmer, 2015).

Hay muchas opciones disponibles para mejorar la sostenibilidad ambiental durante el proceso de desarrollo de un proyecto ferroviario urbano. Por ejemplo, entre las oportunidades importantes durante la construcción, se incluyen 1) la reutilización beneficiosa de la tierra extraída (para la mejora o la creación de parques o espacios verdes, proyectos de construcción que requieran material de relleno, y clausura correcta de minas); 2) la gestión de residuos (por ejemplo, minimización, reciclaje y reutilización), y 3) la reutilización del agua procedente de bombeos de aguas subterráneas y escorrentía de aguas pluviales. Otras decisiones relativas al diseño y el uso de nuevas tecnologías, procesos y productos pueden aportar beneficios ambientales a largo plazo durante la operación,

RECUADRO 15.1.

Problemas relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad: línea 1 del metro de Quito (Ecuador)

En julio de 2013, el Banco Mundial aprobó un préstamo por USD 205 millones para apoyar la construcción y la adquisición de los equipos necesarios para la ejecución del proyecto de la línea 1 del metro de Quito. Gracias al diseño del proyecto, se mejoró la movilidad urbana, se aumentó el acceso para los usuarios del transporte público y se redujeron los costos de operación, sin dejar de lado la mitigación de los impactos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad.

- En el estudio de diseño de alternativas, se propuso el uso de espacios públicos (como parques y espacios abiertos) como ubicación de algunas estaciones (véase la imagen B15.1.1), lo que permitió minimizar los impactos socioambientales relacionados con la adquisición de terrenos y los reasentamientos; esto, a su vez, generó un ahorro de costos y tiempo durante la etapa previa a la construcción. Asimismo, la rehabilitación de los emplazamientos previstos para estas estaciones tras la construcción ofrecerá espacios públicos mejorados y producirá beneficios positivos, tanto sociales como ambientales, para las comunidades locales.
- A través del diseño también se mejoró la sostenibilidad ambiental mediante la

IMAGEN B15.1.1. Uso de espacios verdes públicos (*izquierda*) y de partes de la calle (*derecha*) para el emplazamiento de estaciones

Fuente: © Robert Montgomery. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 15.1.

Problemas relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad: línea 1 del metro de Quito (Ecuador) *(Continuación)*

reutilización de grandes volúmenes de materiales excavados para la construcción de un parque en el emplazamiento del antiguo aeropuerto.

- Gracias a la incorporación de ligeras modificaciones en la ubicación de las estaciones durante el diseño final —un esfuerzo colaborativo entre el contratista de diseño y el organismo de ejecución del proyecto— se redujo el número de árboles con valor patrimonia afectados y, por consiguiente, los impactos ambientales, los costos y las quejas de la comunidad.
- Mediante la implementación de una investigación por etapas de la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, además del proceso de evaluación del impacto ambiental y social (EIAS), se identificó un pasivo ambiental considerable relacionado con la ubicación puntual prevista para una estación. La solución vino de la mano de la gestión de MASS adaptable.
- Se habían producido algunas demoras en la construcción de la estación de Plaza San Francisco, un sitio declarado patrimonio de la humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), debido a los importantes hallazgos arqueológicos que se produjeron durante la construcción. Sin embargo, gracias al plan y al proceso de gestión ambiental y social adaptables del proyecto, fue posible abordar esta situación y responder adecuadamente a ella.
- El organismo de ejecución del proyecto implementó de manera directa ciertas partes del programa de seguimiento ambiental, lo que facilitó el acceso al financiamiento debido a su capacidad relativamente sólida en términos de MASS.

En la evaluación se deben contemplar, asimismo, medidas alternativas de mitigación de impactos y riesgos relacionados con MASS según sus costos de capital y ordinarios, su adecuación en función de las condiciones locales y los requisitos institucionales, de capacitación y de seguimiento conexos. También se deben tener en cuenta diferentes asignaciones de responsabilidades para la gestión de impactos y riesgos específicos del proyecto, como las condiciones preexistentes (contaminación del suelo y las aguas subterráneas y la presencia de sitios arqueológicos e históricos), el seguimiento de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, y la gestión de las intervenciones (véase el recuadro 15.2).

Fuente: Adaptado de Gesambconsult, 2012.
Nota: Para obtener más información, véase la documentación del proyecto en http://projects.worldbank.org/P116170/sao-paulo -metro-line-5-project?lang=en&tab=overview.

RECUADRO 15.2.

Estudio de las responsabilidades relacionadas con el medio ambiente, la salud y la seguridad Línea 5 de São Paulo (Brasil)

En 2010, el Banco Mundial aprobó un préstamo por USD 650,4 millones para mejorar la movilidad de los usuarios del transporte público en el corredor Capão Redondo–Largo Treze–Chácara Klabin en São Paulo (Brasil). El Banco respaldó la adquisición de material rodante para la ampliación de 12 kilómetros del sistema ferroviario y los sistemas conexos de señalización electrónica.

En la estrategia de adquisiciones del proyecto se dividió la construcción en ocho contratos, que se adjudicaron a ocho contratistas diferentes. Todos estos contratos estaban sujetos a la evaluación del impacto ambiental y social (EIAS) y al plan de gestión ambiental y social (PGAS) del proyecto. No obstante, hubo diferencias en el desempeño de los contratistas en relación con los aspectos de medio ambiente, salud y seguridad. Para supervisar a ocho contratistas, fueron necesarios más recursos que los que habría requerido la supervisión de uno solo, y muchas veces se produjeron desacuerdos entre los contratistas con respecto a quién era responsable de las acciones estipuladas en la EIAS o en el PGAS.

como un menor consumo de energía a través de la adopción de tecnologías de frenado regenerativo, el uso de cemento, asfalto o materiales de base más ecológicos, o el uso de fuentes de energía renovables, como paneles solares para la iluminación de las estaciones (véase el capítulo 5).

En el proyecto también deben explorarse opciones para incrementar los beneficios económicos, ambientales y sociales de la inversión, entre los cuales se incluyen el empleo local y la adquisición de bienes y servicios locales. Otro ejemplo es la mejora de parques y áreas recreativas, no solo en zonas directamente afectadas por la construcción de las estaciones, sino también en zonas públicas adyacentes a las vías. Esta mejora de los trazados ferroviarios urbanos puede tener impactos positivos en las comunidades circundantes, incluso en los ciudadanos que no utilicen el nuevo sistema ferroviario (véase el capítulo 16). Durante la construcción de estaciones, especialmente en áreas con un patrimonio cultural más significativo, debe aprovecharse la oportunidad para mejorar las edificaciones y fachadas adyacentes. Asimismo, las mejoras en las zonas de las estaciones, como la repavimentación de calles y sendas peatonales puede mejorar el acceso al nuevo sistema ferroviario y la calidad de vida del barrio. También pueden adoptarse medidas para mejorar el desarrollo microeconómico en las inmediaciones de las estaciones a través del apoyo a los comerciantes de la zona. Estos impactos positivos son importantes para algunos ciudadanos que

residen cerca del emplazamiento del proyecto, ya que promueven el apoyo de la comunidad y las opiniones positivas en torno al proyecto.

En los términos de referencia para el diseño del proyecto debe exigirse la consideración explícita de criterios y medidas ambientalmente sostenibles. Es esencial crear una cultura dentro del organismo de ejecución del proyecto y su contratista en relación con la sostenibilidad ambiental y la participación de la comunidad. Hacer participar a las comunidades locales y a activistas y expertos en medio ambiente en el análisis durante el diseño, incluso de medidas de mitigación menores, puede aportar un valor considerable a un proyecto, desarrollar mayores coaliciones de apoyo y evitar costosos desacuerdos y demoras (véase el recuadro 15.3).

Costos en concepto de MASS del proyecto y gestión de riesgos financieros

Es necesario realizar una estimación precisa de los costos en concepto de MASS del proyecto a fin de garantizar la debida consideración de los impactos y riesgos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad en el análisis de factibilidad y alternativas. También es necesaria para contribuir a las decisiones presupuestarias y las estimaciones de los costos del proyecto, de modo tal que los recursos financieros sean suficientes para gestionar adecuadamente los impactos y riesgos relacionados con MASS. Un punto clave para la elaboración de estimaciones de costos útiles es considerar la gama completa de posibles costos en concepto de MASS (Montgomery, 2015):

- Costos previstos en concepto de MASS, que abarcan los costos de capital (planificación, diseño y construcción) y los costos ordinarios (operación y mantenimiento [O&M]). Algunos de los componentes clave de los costos en concepto de MASS son mitigación, seguimiento, capacidad institucional, capacitación, cumplimiento normativo (permisos) y seguros.
- Otros costos en concepto de MASS, que abarcan los costos estimados para resolver un evento de riesgo de este tipo en caso de que llegara a producirse, como un derrame o accidentes.

Los diferentes riesgos relacionados con MASS pueden plantear riesgos financieros considerables (es decir, costos adicionales) que podrían afectar la viabilidad del proyecto. En el recuadro 15.4 se incluyen algunos ejemplos de posibles problemáticas de MASS que pueden traer consigo riesgos financieros de consideración (Montgomery, 2014). Es necesario identificar y evaluar estos riesgos, y que los responsables de la toma de decisiones pertinentes tengan en cuenta esta información.

RECUADRO 15.3.

Protección de especies en peligro de extinción y mitigación de impactos ambientales: línea plateada, Washington, DC (Estados Unidos)

Durante el verano de 2015, los contratistas que trabajaban en la ampliación de la Línea Plateada al Aeropuerto de Dulles, en las afueras de Washington, DC, se enteraron de que los emplazamientos de construcción de la región debían ser examinados para descartar la presencia de murciélagos orejudos del norte que pudieran estar anidando o teniendo crías allí. Estos murciélagos, recientemente incorporados a la lista de especies en peligro de extinción del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, habían sido diezmados por el síndrome de la nariz blanca, un hongo que infecta los entornos donde hibernan los murciélagos. Ante la posibilidad de que se impusiera la suspensión de la construcción con el fin de proteger los posibles hábitats de la especie, se emprendió, en el marco del proyecto, una inspección nocturna de los emplazamientos de construcción que se extendió por plazo de una semana y en el

IMAGEN B15.3.1. Murciélago capturado en el emplazamiento de construcción del patio de maniobras del Aeropuerto de Dulles

Fuente: © Dulles Metrorail Corridor Project; reproducido con autorización.

que se usaron redes para capturar murciélagos para la identificación de su especie y su posterior liberación. Las vigilias nocturnas dieron como resultado la captura de un gran número de murciélagos (véase la imagen B15.3.1), ninguno de los cuales resultó ser un murciélago orejudo del norte. Tras la adopción de esta responsabilidad ambiental en asociación con científicos locales, el proyecto fue elogiado por estar a la vanguardia de la protección de las especies en peligro de extinción; asimismo, se logró evitar importantes y costosas demoras en la construcción del proyecto.

Fuente: Adaptado de Dulles Metrorail Corridor Project, 2015.

RECUADRO 15.4.

Riesgos financieros representativos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad

- mayores gastos de capital o costos de operación relacionados con el cumplimiento de normas o regulaciones sobre MASS;
- reclamaciones pagadas en concepto de daños y perjuicios a terceros;
- costos adicionales atribuibles a la revocación de permisos ambientales o a demoras en su obtención;
- costos adicionales (incluidas demoras) requeridos para la obtención de permisos ambientales nuevos o con modificaciones;
- cambios recientes o pendientes en las leyes o regulaciones sobre MASS que requieran medidas adicionales y, por ende, generen mayores costos;
- incumplimiento normativo que dé lugar a multas, penalizaciones, demoras en el proyecto o clausuras;
- medidas de mitigación ambiental que no logren mitigar los impactos adecuadamente y que, por consiguiente, generen la necesidad de nuevas medidas y gastos adicionales;
- impactos ambientales imprevistos que ocasionen juicios o mayores gastos (por ejemplo, hallazgo reciente de sitios culturales e históricos, efectos en la salud de trabajadores o terceros, y eliminación de suelo o aguas subterráneas contaminados);
- prácticas laborales deficientes que redunden en ineficiencias en la construcción (mayores costos unitarios de producción) o en gastos imprevistos para cubrir accidentes y muertes de empleados;
- problemas de salud de los trabajadores y la comunidad aledaña relacionados con la exposición habitual y las emisiones o descargas accidentales o imprevistas en el aire o el agua;
- daños a los recursos naturales (incluidos daños a flora con un valor significativo) que deban subsanarse;
- accidentes relacionados con MASS que puedan reducir la producción, desvalorizar los equipos u ocasionar daños a los trabajadores o el medio ambiente;
- cuestiones sociales y posibles problemas relacionados con la seguridad que causen interrupciones o dilaciones, que pueden generar aumentos de los costos;
- objeciones y protestas públicas, que pueden ocasionar demoras en la construcción.

En la típica evaluación del impacto ambiental y social (EIAS) de un proyecto, que muchos Gobiernos utilizan como principal (o único) instrumento de evaluación de aspectos ambientales, de salud y de seguridad, normalmente no se identifican íntegra ni adecuadamente todos los posibles riesgos relacionados con MASS (por ejemplo, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas y la interferencia en los servicios públicos). El efecto y la gestión de riesgos de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad del proyecto dependen de la estructura financiera y del proyecto, y del tipo de financiamiento (préstamo, garantías, capital o bonos). Además, la importancia de los costos o riesgos financieros dado el costo o la inversión total del proyecto y la designación de una entidad que asuma el riesgo financiero (entidad o empresa encargada del proyecto, contratista o institución financiera) son factores clave. La asignación del riesgo debe definirse dentro del contrato y la estructura financiera del proyecto, y no todas las partes del proyecto necesariamente tendrán una responsabilidad directa ni injerencia respecto de un riesgo financiero relacionado con MASS. Estas condiciones y otras medidas de mitigación de riesgos relacionados con MASS se establecen en el acuerdo de concesión, los contratos de construcción y los convenios de préstamo del proyecto. En el recuadro 15.5 se presenta un ejemplo de riesgos financieros relacionados con MASS en un proyecto ferroviario urbano de Brasil.

Además, hay diferentes riesgos del proyecto comunes a los proyectos ferroviarios urbanos que pueden tener un impacto directo y considerable en la gestión de MASS, incluido el aumento de los posibles riesgos relacionados con dichos aspectos o la reducción indirecta del presupuesto para su gestión. Estos riesgos pueden incluir cambios en aspectos del diseño del proyecto, costos de construcción mayores de lo previsto que pueden reducir los presupuestos de gestión de MASS, demoras en los plazos de construcción que pueden potenciar los impactos y riesgos relacionados con MASS, demoras en los pagos contractuales tanto al contratista principal de construcción como a los subcontratistas de bienes y servicios, o cambios en los contratistas (véase el recuadro 15.6). Otros factores incluyen problemas con la seguridad del entorno urbano en las inmediaciones de los emplazamientos de los proyectos, desastres naturales (como actividad sísmica, precipitaciones intensas e inundaciones) (véase el capítulo 17), y quejas de la comunidad en relación con el proyecto. Por ende, es necesario que todos los riesgos del proyecto se sometan a un seguimiento y se consideren parte de la gestión continua de MASS del proyecto (véase el capítulo 7).

Si bien los cambios significativos en el diseño o las funciones y responsabilidades a menudo conducen a demoras en la ejecución del proyecto, costos mayores de lo previsto o problemas con la gestión de MASS, un diseño relativamente flexible podría reducir los impactos y riesgos relacionados con

RECUADRO 15.5.

Un sistema ferroviario urbano más moderno y ecológico: Río de Janeiro (Brasil)

En 2011 el Banco Mundial aprobó financiamiento adicional por valor de USD 600 millones para mejorar la operación y reducir el impacto ambiental del sistema ferroviario urbano del área metropolitana de Río de Janeiro. Uno de los componentes principales del proyecto fue la adquisición de nuevos trenes eléctricos y el mantenimiento de activos para mejorar la seguridad y aumentar la eficiencia.

Se plantearon importantes riesgos financieros relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad:

- Los conflictos sociales y de índole similar en las zonas inmediatamente aledañas al derecho de vía ocasionaron dificultades considerables para llevar a cabo la reparación de las vías.
- El permanente vertido ilegal de residuos sólidos en el derecho de vía tuvo como resultado costos adicionales en recolección, eliminación y programas de educación pública.
- El vertido de aguas residuales domésticas sin tratar en el sistema de alcantarillado que se extiende a lo largo del derecho de vía ocasionó costos adicionales para el saneamiento de las obras de construcción y la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores.
- Fue necesario dedicar tiempo e incurrir en costos adicionales para la rehabilitación de una estación porque el edificio existente fue declarado de valor histórico (cultural).
- Para cumplir con los requisitos normativos, fue necesario someter las aguas residuales generadas en el taller de mantenimiento de coches a un tratamiento previo antes de ser vertidas en los sistemas de alcantarillado municipales.
- Debido a la contaminación del suelo de los talleres de mantenimiento de coches, se requirieron tareas de saneamiento.

Gracias a la labor conjunta con especialistas en cuestiones ambientales y sociales del Banco Mundial, el concesionario de la operación de transporte ferroviario urbano pudo identificar y gestionar estos riesgos como parte del financiamiento, la preparación y la ejecución del proyecto.

Fuente: Adaptado de Supervia, 2008.

dichos aspectos y ofrecer una oportunidad de lograr la participación de la comunidad, fortalecer el apoyo del proyecto a nivel local, e identificar inversiones complementarias en los barrios involucrados que puedan mejorar los beneficios en términos de accesibilidad y desarrollo económico del proyecto ferroviarios urbanos.

Como complemento de las estimaciones de costos en concepto de MASS se encuentran las recomendaciones orientadas a reducir los costos previstos, como

RECUADRO 15.6.

La necesidad de mantener la gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad más allá de las demoras en el proyecto y los cambios de contratistas: línea 4 del metro de São Paulo (fase II) (Brasil)

En 2010, el Banco Mundial aprobó un préstamo de USD 130 millones para mejorar la integración del sistema ferroviario con el sistema de autobuses y para extender 12,8 kilómetros la línea 4 de São Paulo e incorporar cuatro estaciones nuevas. Con el programa se buscaba mejorar la movilidad y el acceso y, al mismo tiempo, la operación.

El proyecto sufrió importantes demoras que, en definitiva, llevaron al contratista a cancelar el contrato. A medida que el proceso fue avanzando, el presupuesto para gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad se fue reduciendo, lo que provocó una falta de mitigación y seguimiento integral de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad y un aumento de los impactos y riesgos conexos. Cuando se interrumpió la construcción, algunos de los emplazamientos quedaron sin supervisión o protección. Esto dio lugar a diferentes problemas ambientales, de salud y de seguridad en torno a estos emplazamientos, incluidos 1) problemas de salud pública relacionados con el control de enfermedades transmitidas por el agua debido a las aguas estancadas (como el dengue y el zika) y la aparición de vectores de enfermedades y plagas urbanas (como alacranes y roedores) debido a la basura y a la vegetación descontrolada (véase la imagen B15.6.1), y 2) compuestos químicos indebidamente almacenados, acumulación de residuos sólidos, eliminación inadecuada de materiales que podrían haberse reutilizado y acumulación de residuos peligrosos y envases contaminados. Todos estos problemas ambientales, de salud y de seguridad generaron costos adicionales y debieron resolverse después de conseguir a un nuevo contratista. Esta experiencia pone de manifiesto la importancia de mantener la gestión de MASS independientemente de cualquier demora en el proyecto y de cualquier reasignación oportuna de responsabilidades de gestión en el caso de cambios de contratistas.

IMAGEN B15.6.1. Residuos sólidos (*izquierda*) y líquidos (*derecha*) ilegales en el derecho de vía

Fuente: © Robert Montgomery. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

la implementación de medidas y enfoques ambientalmente sostenibles para gestionar el riesgo de costos adicionales relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad. Idealmente, las estimaciones de costos en concepto de MASS deben estar desglosadas por elemento, y debe asignarse a una parte responsable (organismo de ejecución del proyecto, contratista de construcción u operador) cada uno de ellos. Debe especificarse la base de las estimaciones de costos, incluido qué incluye el costo y qué no, qué datos se usaron para realizar las estimaciones, si se han descontado costos futuros, y posibles incertidumbres. Cuando las incertidumbres respecto de los costos sean considerables, el organismo de ejecución del proyecto debe considerar un seguimiento o estudios adicionales a fin de reducir la posibilidad de que se produzcan costos mayores de lo previsto. Para asistir en la licitación y la preparación de los contratos de construcción, es mejor indicar los precios unitarios (por ejemplo, de equipos para control de la contaminación) y brindar sugerencias para la gestión de los riesgos relacionados con MASS que puedan contemplarse en los contratos pertinentes del proyecto.

Las estimaciones de costos en concepto de MASS deben basarse en fuentes de información detalladas. En la práctica, las estimaciones de costos en concepto de MASS realizadas en las primeras instancias del proceso de desarrollo del proyecto como parte de la EIAS suelen tener un nivel de incertidumbre demasiado elevado para tomar decisiones informadas en relación con la gestión de MASS. Por consiguiente, se recomienda fundamentar los detalles de los costos en concepto de MASS y las recomendaciones conexas con estimaciones del diseño más detalladas, ya que las estimaciones de costos en concepto de MASS probablemente excedan el alcance de la EIAS normativa normal de un país.

Evaluación de impactos y riesgos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad

A fin de formular planes y sistemas específicos del proyecto para la gestión de MASS, es necesario llevar a cabo una evaluación de los posibles impactos y riesgos relacionados con MASS. En esta sección se resumen los aspectos clave de la EIAS, que es uno de los principales medios para evaluar los posibles impactos y riesgos ambientales y sociales de los proyectos ferroviarios urbanos.

Evaluación del impacto ambiental y social

Una EIAS es uno de los principales medios para garantizar la sostenibilidad ambiental y social de los proyectos y que en el proceso de toma de decisiones se tengan en cuenta los aspectos ambientales y sociales correspondientes.

La EIAS es un instrumento orientado a minimizar y mitigar los impactos negativos de la ejecución del proyecto y, al mismo tiempo, a maximizar los beneficios a largo plazo del sistema ferroviario urbano para las comunidades locales.

Una EIAS permite evaluar los riesgos e impactos ambientales y sociales a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto. Incluye 1) una descripción y delineación precisa del proyecto y cualquier aspecto relacionado; 2) una descripción de las condiciones de referencia ambientales y sociales con un nivel de detalle suficiente para contribuir a la caracterización e identificación de riesgos, impactos y medidas de mitigación; 3) una evaluación de los posibles riesgos e impactos ambientales y sociales directos, indirectos y acumulativos del proyecto; 4) una evaluación de las alternativas al proyecto; 5) un plan de gestión ambiental y social, y 6) una estrategia de participación de los grupos de interés y comunicación con estos (Banco Mundial, 2013b, 2016). La EIAS se basa en los estudios técnicos y de diseño detallados del proyecto, entre los que se incluyen una evaluación de las alternativas, investigaciones geológicas, un estudio de factibilidad y el diseño del proyecto.

La EIAS de un proyecto es el documento principal para la solicitud de licencias o permisos normativos, así como también para la obtención de financiamiento proveniente de instituciones financieras. Por lo tanto, es necesario que cumpla con todos los requisitos ambientales del país en cuestión y que se formule de manera tal que se adecue a las políticas y los requerimientos de la institución que financiará el proyecto. De lo contrario, es probable que deban realizarse nuevas tareas relacionadas con la EIAS, lo que puede generar demoras y requerir recursos adicionales para la elaboración de mejores medidas de mitigación y programas de seguimiento. En este caso, puede ser necesaria una EIAS complementaria o un plan de acción de MASS (véase el recuadro 15.7).

Si bien el contenido obligatorio de la EIAS de un proyecto ferroviario urbano puede variar de un país a otro, es recomendable abordar cada uno de los componentes clave exigidos por las instituciones financieras internacionales:

- *Marco de la EIAS*. En la elaboración de la EIAS deben tenerse en cuenta los requisitos de las instituciones financieras internacionales, las normas internacionales y las buenas o mejores prácticas (Asociación de los Principios del Ecuador, 2013, Banco Mundial, 2016; Grupo Banco Mundial, 2007a, 2007b) (véase el recuadro 15.8).

- *Análisis de alternativas*. Al momento de la preparación de la EIAS, la mayor parte de la labor técnica relativa al análisis de alternativas ya debe haberse completado. Es necesario incluir un resumen adecuado de estos estudios. En el análisis deben contemplarse todos los riesgos ambientales, sociales, de salud y de seguridad pertinentes, incluidos los costos de capital y ordinarios

RECUADRO 15.7.

EIAS o plan de acción de MASS adicionales para cumplir con los requisitos de las instituciones financieras: línea 2 del metro de Lima (Perú)

En 2015, el Banco Mundial aprobó el otorgamiento de un préstamo de USD 300 millones al Gobierno de Perú para la construcción de la línea 2 y de un tramo de la línea 4 del metro de Lima. El objetivo del proyecto era proporcionar un eje este-oeste principal que conectara Ate con la zona portuaria de Callao a través del centro de la ciudad de Lima. También incluía un ramal para conectar la línea 2 con el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

El organismo de regulación ambiental de Perú requirió una evaluación del impacto ambiental y social (EIAS) que no cumplió con las políticas de salvaguardias ambientales y sociales de las instituciones financieras internacionales involucradas en el proyecto. En cumplimiento de sus políticas, estas instituciones exigieron la realización de un estudio complementario (una EIAS adicional) que dio lugar a costos adicionales, problemas con el financiamiento e inconvenientes con el organismo de regulación ambiental y el permiso ambiental original del proyecto. El organismo del Gobierno responsable de la supervisión del contrato contrató a un supervisor independiente a quien se otorgaron responsabilidades específicas en materia de MASS. Esta supervisión externa ayudó a demostrar que el proyecto cumplía con los requisitos de MASS de las instituciones financieras.

Además de esta supervisión adicional de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, en virtud del contrato de construcción, el contratista debió elaborar y presentar diseños finales para cada componente del proyecto y proponer mejoras para el plan de gestión ambiental y social (PGAS [parte de la EIAS]) a partir de este diseño final. También deberían incorporarse otras mejoras en el proyecto en función de los resultados de los estudios técnicos exigidos por contrato (por ejemplo, estudios sobre las aguas subterráneas). Si bien ambos conceptos constituían buenos enfoques teóricos, en la práctica, la implementación no tuvo como resultado las mejoras esperadas en la gestión de MASS. El proyecto sufrió demoras durante el diseño final debido a la falta de coordinación entre el concesionario y diferentes organismos del Gobierno con responsabilidades en materia de MASS.

Esta experiencia arroja luz sobre la importancia de definir funciones y responsabilidades claras en cuanto a la gestión de MASS y la mitigación de impactos y riesgos conexos, y de entender y cumplir las normas y regulaciones nacionales, locales y de las instituciones financieras en relación con la gestión de MASS desde el inicio mismo del proyecto.

Fuente: Adaptado de Environmental Resources Management, 2014.

RECUADRO 15.8.

Buenas prácticas de evaluación del impacto ambiental y social: proyecto ferroviario urbano de Nanchang (China)

En 2013, el Banco Mundial aprobó un préstamo por USD 250 millones para apoyar las obras de construcción y la adquisición de equipos del corredor de la línea 2 del transporte ferroviario urbano de Nanchang (China). Dada su naturaleza, su magnitud y su ubicación, durante la construcción del proyecto ferroviario urbano en Nanchang se plantearon numerosos desafíos en materia ambiental, social y de seguridad. En la evaluación del impacto ambiental y social (EIAS) se abordaron estos desafíos de manera integrada a través de evaluaciones preliminares y la determinación del alcance, análisis de alternativas, análisis del impacto, la formulación de medidas de mitigación, consultas públicas y actividades de seguimiento (Banco Mundial, 2013a). Cabe mencionar algunas enseñanzas aprendidas a partir del proceso de EIAS de este proyecto:

- La evaluación del impacto acumulado de este proyecto fue la primera que se realizó sobre un proyecto ferroviario urbano en China. Con ella se identificaron los receptores sensibles al ruido o la vibración, lo que derivó en mejoras en las medidas de mitigación durante el diseño (cambios que, de haberse adoptado durante la operación, habrían resultado demasiado costosos o alteradores).
- El Municipio de Nanchang estableció un grupo de liderazgo para el proyecto presidido por el vicealcalde con el fin de garantizar un compromiso sólido, una comunicación fluida, una coordinación eficaz y una respuesta eficiente para el abordaje de problemas e inquietudes clave planteados por el público y otras partes interesadas.
- En el marco del proyecto se tomaron medidas concretas para fortalecer los mecanismos y la capacidad institucional respecto de la gestión de la seguridad a través de la asignación de recursos suficientes, la definición de responsabilidades claras y la concientización en torno a la gestión de riesgos y de seguridad entre todas las partes interesadas.
- La empresa de transporte ferroviario urbano de Nanchang elaboró su propio método para la gestión de riesgos, que incorporaba las especificaciones nacionales y los objetivos en materia de medio ambiente, salud y seguridad del Banco Mundial. En este documento se brinda un enfoque sistemático de gestión de riesgos que abarca la definición de riesgo, la cobertura, los procedimientos, el grado de riesgo, el desglose de responsabilidades y mecanismos de reuniones regulares y comunicaciones.
- El plan de reasentamiento se elaboró a partir de un extenso y profundo proceso de participación pública. La información del proyecto y las políticas de compensación se divulgaron de diferentes formas y por varios medios. La practicidad del plan y la transparencia del proceso dieron como resultado una mayor armonía durante las tareas de adquisición de terrenos y demolición de viviendas (Oficina de Gestión de Proyectos de NCRT, 2013).

Fuente: Adaptado de Banco Mundial, 2013a, y Oficina de Gestión de Proyectos de NCRT, 2013.

de las medidas de mitigación alternativas y su adecuación en función de las condiciones locales.

- *Condiciones de referencia.* El valor de referencia debe incluir no solo información o datos previos, sino también datos recopilados como parte de la preparación de la EIAS a fin de brindar una descripción adecuada, representativa y específica del proyecto. Entre los valores de referencia ambientales clave que se necesitan se incluyen las condiciones meteorológicas, la calidad del aire, los niveles de ruido, los niveles de tráfico, las condiciones geotécnicas, los peligros naturales (sismos, fallas, socavones, inundaciones, huracanes y tornados), recursos hídricos (superficiales y subterráneos), flora (especialmente árboles, humedales y hábitats sensibles), fauna, especies amenazadas y en peligro de extinción (incluidas especies sensibles y especies de importancia económica), parques naturales o zonas protegidas, recursos arqueológicos y recursos culturales e históricos.
- *Impactos.* En la EIAS deben cuantificarse (a través del uso de modelos matemáticos) los impactos clave como el ruido, las vibraciones, el tráfico, la calidad del aire (polvo y material particulado) y aguas subterráneas. Estos impactos deben compararse, por un lado, con límites o criterios normativos locales y, por el otro, con límites o criterios aceptables a nivel internacional (Grupo Banco Mundial, 2007a, 2007b). En la evaluación de los impactos se deben abordar los impactos indirectos y acumulativos y considerar las instalaciones conexas (por ejemplo, principales sitios o instalaciones de abastecimiento de material, plantas de concreto y sitios de eliminación final de la tierra extraída).
- *Riesgos (contingencias).* En la EIAS debe incluirse una evaluación adecuada de todos los riesgos relacionados con MASS, incluidos aquellos a los que se expone a las comunidades y los trabajadores locales.
- *Participación de las partes interesadas.* Las consultas con el público deben cumplir con los requisitos de las instituciones financieras internacionales y las buenas prácticas internacionales, incluida la divulgación de la versión preliminar de la EIAS y la correspondiente consulta al respecto, la planificación adecuada de la participación de las partes interesadas durante la construcción y la operación, y el establecimiento de canales de comunicación y mecanismos de reclamación adecuados (véase el capítulo 14).
- *Costos.* Las estimaciones de costos deben abordar todas las medidas de mitigación, de seguimiento y de otro tipo.
- *Aspectos generales.* Se necesitan cronogramas y presupuestos adecuados para elaborar una EIAS aceptable que cumpla con los requisitos de las instituciones financieras y adhiera a las buenas prácticas del sector.

Posibles impactos y riesgos relacionados con MASS

La identificación y la evaluación de los posibles impactos y riesgos relacionados con MASS atribuibles al proyecto constituyen un paso fundamental hacia la definición de la estrategia de gestión de impactos y riesgos. Esta evaluación debe incluir los impactos directos, indirectos y acumulativos de cada riesgo relacionado con MASS durante cada uno de los pasos del proceso de desarrollo del proyecto. En el cuadro 15.1 se indican los posibles impactos ambientales negativos de los proyectos ferroviarios urbanos.

Como parte de la EIAS para los proyectos ferroviarios urbanos, es probable que ciertos impactos ameriten una evaluación detallada, incluida la recopilación de datos sobre el terreno y la formulación de modelos matemáticos:

- inventario de árboles que pueden resultar afectados por el proyecto, incluidas especies de potencial importancia (patrimonial);
- investigación (examen bibliográfico, incluidos leyes y mapas locales, e investigación sobre el terreno) para determinar la presencia de sitios culturales, históricos o arqueológicos en la zona de influencia directa e indirecta del proyecto;
- inventario de posibles sitios existentes o nuevos para la eliminación final o la reutilización de la tierra extraída durante la construcción de túneles y estaciones;
- evaluación de las vibraciones, incluida un posible seguimiento de los valores de referencia en lugares sensibles (edificaciones) y uso de modelos matemáticos para estimar los efectos potenciales;
- evaluación de aguas subterráneas, incluidos modelos para estimar los efectos del bombeo de aguas subterráneas para la construcción;
- evaluación del ruido, incluido un posible seguimiento de los valores de referencia en lugares sensibles y uso de modelos matemáticos para estimar los efectos potenciales;
- evaluación de pasivos ambientales atribuibles a la contaminación del suelo o las aguas subterráneas (por ejemplo, debido a estaciones de servicio o talleres de reparación de automóviles o vehículos) en emplazamientos que requieran excavación del suelo (véase la imagen 15.2).

Muchos de los posibles impactos y riesgos ambientales directos son típicos en los proyectos de infraestructura urbana y se caracterizan por estar localizados, ser de corta duración y ser mitigables con medidas comunes. Sin embargo, algunos de estos impactos y riesgos normalmente hacen necesaria

CUADRO 15.1. Principales impactos ambientales directos negativos de los proyectos ferroviarios urbanos

PASO DEL PROYECTO	POSIBLE IMPACTO DIRECTO RELACIONADO CON MASS
Construcción	• niveles elevados de materiales particulados debido a excavaciones y obras relacionadas con la manipulación del suelo; • niveles elevados de contaminantes del aire y emisiones de gases de efecto invernadero (óxidos de azufre, óxidos nitrosos, óxidos de carbono) liberados por los equipos y la maquinaria de construcción; • aumento de los niveles de ruido debido al uso de equipos, la maquinaria y las obras de construcción; • aumento de las vibraciones debido a las obras de construcción de túneles y excavaciones; • aumento de la contaminación del agua superficial debido a la sedimentación provocada por la erosión del suelo o los derrames; • disminución de los niveles de aguas subterráneas debido al bombeo para permitir la construcción, e impactos en el uso de las aguas subterráneas próximas y posibles hundimientos; • aumento del tráfico debido al cierre de carreteras y a los desvíos en la zona de los emplazamientos de construcción y al tráfico de camiones hacia y desde los emplazamientos; • potencial contaminación del suelo y las aguas subterráneas debido a la gestión indebida de los residuos sólidos y peligrosos de la construcción; • impactos debido a la eliminación de la tierra extraída, incluido el movimiento de camiones, la pérdida de capacidad de los vertederos y la gestión inadecuada de los vertederos; • cambios en el uso del suelo, temporales o permanentes, en los emplazamientos (por ejemplo, estaciones, evacuación de emergencia); • efectos en la estabilidad del suelo o hundimientos durante la excavación de túneles; • pérdida de flora (vegetación), temporal o permanente, en los emplazamientos, incluidos árboles con valor histórico; • impactos en la fauna (animales) debido a las obras de construcción; • impactos en zonas protegidas (parques, espacios verdes) si los emplazamientos se encuentran allí; • impactos en edificaciones y sitios considerados patrimonio cultural debido a las obras de construcción y la excavación de túneles; • pérdida de recursos arqueológicos, o impactos en dichos recursos, debido a las obras de construcción y excavación; • pérdida temporal de servicios (por ejemplo, agua potable o eliminación de aguas residuales) debido a la reubicación de servicios públicos en la construcción del emplazamiento;

(El cuadro continúa en la página siguiente.)

CUADRO 15.1. Principales impactos ambientales directos negativos de los proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

PASO DEL PROYECTO	POSIBLE IMPACTO DIRECTO RELACIONADO CON MASS
Construcción (*Continuación*)	• disposición final inadecuada de suelo y aguas subterráneas contaminados; • riegos relativos a la salud y seguridad de los trabajadores debido a las obras de construcción (véase la imagen 15.1); • riesgos de seguridad para la comunidad debido a las obras de construcción;
Operación y mantenimiento	• niveles elevados de contaminantes del aire y emisiones de gases de efecto invernadero liberados por los equipos y la maquinaria; • aumento de los niveles de ruido debido a los equipos y los trenes; • aumento de las vibraciones debido a los trenes; • aumento de la contaminación del agua superficial debido a la sedimentación provocada por la erosión del suelo o los derrames; • disminución de los niveles de las aguas subterráneas debido al bombeo, e impactos en el uso de las aguas subterráneas próximas y posibles hundimientos; • gestión inadecuada de residuos sólidos y líquidos provenientes de los talleres de mantenimiento de coches; • posible contaminación del suelo y las aguas subterráneas debido a una gestión inadecuada; • cambios en el uso del suelo en los emplazamientos (estaciones y evacuación de emergencia); • impactos en edificaciones y sitios considerados patrimonio cultural debido a los trenes y al movimiento de personas en las estaciones; • riesgo de situaciones de emergencia (incendios y explosiones); • riesgos relacionados con la salud y la seguridad de los trabajadores; • riesgos de seguridad para los usuarios del proyecto ferroviario; • riesgos de seguridad para la comunidad en los alrededores de los emplazamientos.

Nota: MASS = medio ambiente, salud y seguridad.

una evaluación adicional y posibles modificaciones en las medidas de mitigación planificadas tras la finalización de la EIAS. Estas modificaciones deben incorporarse en el diseño final y en la secuencia de construcción de las obras. En el caso de los sistemas ferroviarios urbanos, algunas de las modificaciones pueden ser las siguientes:

- evaluación y mediciones específicas del emplazamiento para controlar el ruido, el polvo y la iluminación durante la construcción (por ejemplo, cuando se trabaja las 24 horas del día);

IMAGEN 15.1. Maquinaria pesada que presenta un riesgo de salud y seguridad en el trabajo para los trabajadores durante la construcción: Lima (Perú)

Fuente: © Robert Montgomery. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

- investigaciones en el terreno adicionales previas a la construcción, si hay una probabilidad considerable de que haya sitios o hallazgos arqueológicos en la zona de influencia directa del proyecto;
- selección final de un sitio de eliminación final o reutilización de la tierra extraída durante la construcción, y evaluación y determinación de rutas para los camiones desde los emplazamientos del proyecto hasta el sitio de eliminación o reutilización;
- investigaciones adicionales en zonas donde se haya identificado la presencia de suelos o aguas subterráneas contaminados a fin de definir el grado y la magnitud de la contaminación y alternativas para la eliminación final de tierra y aguas subterráneas;
- obras en parques o espacios verdes públicos y potencial extracción de árboles, especialmente si se incluyen árboles de valor patrimonial con un significado especial;

IMAGEN 15.2. Perforación del pavimento para analizar los niveles de contaminación del suelo y las aguas subterráneas en estación de servicio junto a la vía segregada: Quito

Fuente: © Robert Montgomery. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

- evaluaciones adicionales de la vibración, como inspecciones visuales de las edificaciones y seguimiento de los valores de referencia en zonas con edificaciones sensibles (generalmente de pertinencia cultural o histórica);
- modificación de medidas de MASS a fin de permitir el acceso de emergencia a sitios sensibles como recursos culturales, escuelas, iglesias, hospitales y centros de salud próximos a la construcción y los puntos de ventilación de las estaciones.

Gestión del medio ambiente, la salud y la seguridad

Si bien la EIAS del proyecto es un instrumento fundamental para evaluar los posibles impactos y riesgos, no es suficiente, por sí sola, para garantizar una gestión de MASS sólida en el marco de un proyecto ferroviario urbano. Un sistema de gestión de MASS forma parte de la gestión general del proyecto y se utiliza para administrar los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, satisfacer obligaciones de cumplimiento y abordar riesgos y oportunidades. Los instrumentos fundamentales de gestión de MASS para los proyectos ferroviarios urbanos son 1) el PGAS, que se elabora como parte de la EIAS del proyecto en relación con la obtención del permiso ambiental del proyecto, y 2) el SGMASS, cuya preparación es responsabilidad del organismo de ejecución del proyecto o el contratista de construcción (como un requisito incluido en el contrato de construcción). Estos instrumentos incluyen los programas de seguimiento y supervisión en materia de MASS, la definición de funciones y responsabilidades para la gestión de MASS y la elaboración de informes sobre dichos aspectos. Otros aspectos clave son la inclusión de términos y condiciones de MASS en las licitaciones y contratos del proyecto, y la implementación de un enfoque de gestión de MASS adaptable. Estos conceptos se resumen en las subsecciones siguientes.

Plan de gestión de MASS

La EIAS del proyecto incluye un PGAS, que consiste en un conjunto de medidas de mitigación, de seguimiento e institucionales que deben adoptarse durante la ejecución y la operación de un proyecto a fin de eliminar los riesgos e impactos ambientales y sociales adversos, compensarlos o reducirlos a niveles aceptables. En un PGAS, deben incluirse descripciones detalladas de 1) todas las medidas de mitigación ambientales y sociales y las actividades de seguimiento necesarias; 2) métodos de supervisión específicos para asegurar que todas las partes responsables implementen todas las medidas y los programas de forma completa y adecuada; 3) capacitación para apoyar una implementación oportuna y eficaz de los componentes ambientales y sociales y de las medidas de mitigación, incluidas, según resulte necesario, medidas para fortalecer la capacidad de gestión ambiental y social en los organismos responsables de la ejecución; 4) acciones habituales de elaboración de informes; 5) actividades continuas para garantizar la divulgación adecuada de información y la consulta con la población local afectada por el proyecto, y 6) un costo estimado, un cronograma y una asignación de responsabilidades para la implementación de cada medida de mitigación, programa de seguimiento y todas las demás actividades del PGAS (Banco Mundial, 2013b, 2016).

El PGAS consta de varios programas específicos de mitigación y seguimiento ambiental y social. Por ejemplo, un PGAS para proyectos ferroviarios urbanos debe incluir programas y medidas para residuos sólidos y líquidos, materiales excavados, emisiones a la atmósfera, ruido, vibraciones, flora (vegetación), fauna (animales), parques y zonas protegidas, recursos arqueológicos y culturales, salud y seguridad comunitarias, pasivos ambientales, salud y seguridad de los trabajadores, gestión del tráfico, servicios de infraestructura, derrames y contingencias, emergencias, capacitación y fortalecimiento de la capacidad, seguimiento, supervisión, participación comunitaria, contratación local, adquisición de servicios locales, y finalización de la construcción. En el PGAS se pueden incluir o citar planes del proyecto más detallados, como planes de salud y seguridad, planes de contingencia o planes de prevención, control y medidas correctivas en caso de derrames.

Todos los programas y las medidas de MASS son necesarios; sin embargo, algunos aspectos de los programas del PGAS son críticos para los proyectos ferroviarios urbanos en países de ingreso bajo y medio (véase el cuadro 15A.1 del

RECUADRO 15.9.

Mejoras de seguridad en un sistema ferroviario suburbano existente: Mumbai (India)

El sistema ferroviario suburbano de Mumbai constituye una opción de transporte económica y rápida para muchas personas de la ciudad. Sin embargo, durante muchos años, se caracterizó por presentar un número cada vez mayor de muertes accidentales y lesiones de los pasajeros y las personas que ingresaban sin autorización en las vías de los tres corredores principales. En 2012, se documentaron más de 3600 muertes accidentales (un promedio de más de 10 por día) (Banco Mundial, 2017). En reconocimiento del problema, Mumbai Rail Vikas Corporation emprendió un estudio de los problemas de accesibilidad, los motivos del ingreso no autorizado de personas a las vías y las instalaciones existentes en las estaciones de transporte ferroviario. En el estudio se identificaron numerosos motivos para el ingreso no autorizado, incluidos 1) espacio de andén insuficiente en las estaciones durante las horas pico; 2) mala conectividad, capacidad insuficiente, falta de atractivo estético y dificultad para utilizar los puentes peato nales existentes; 3) falta de tablones informativos, carteles y anuncios relativos a los cambios en los horarios del servicio y los andenes de partida, y 4) altura insuficiente de los vallados entre las vías y los asentamientos aledaños (véase la imagen B15.9.1) (Despacho de Consultoría de la Facultad de Arquitectura Sir J. J., 2012). Con los resultados de este estudio, Mumbai Rail Vikas Corporation elaboró un plan de acción sobre ingreso no autorizado y seguridad, en el que se señaló la necesidad de implementar medidas de control del ingreso no autorizado para los tramos intermedios de las vías y las áreas internas de las estaciones.

RECUADRO 15.9.

Mejoras de seguridad en un sistema ferroviario suburbano existente: Mumbai (India) *(Continuación)*

IMAGEN B15.9.1. Basura y personas que ingresaban sin autorización en las vías del sistema ferroviario suburbano de Mumbai antes del proyecto, 2009.

Fuente: Banco Mundial.

Algunas de las acciones especificadas en este plan se implementaron como parte de un proyecto financiado por el Banco Mundial, el Proyecto de Transporte Urbano de Mumbai 2A, orientado a mejorar la capacidad de traslado de pasajeros, la eficiencia operativa y el nivel de comodidad del sistema ferroviario suburbano de Mumbai. En el marco del proyecto, se proporcionaron varias unidades nuevas y más ecológicas de material rodante eléctrico, se convirtió el suministro de energía eléctrica de corriente continua a corriente alterna, y se mejoraron las redes de señalización y telecomunicaciones que sirven de apoyo al sistema ferroviario. A las actividades del proyecto se sumaron mejoras de infraestructura tendientes a prevenir el ingreso no autorizado y reforzar la seguridad en 12 estaciones de ferrocarril suburbano, a saber: 1) nuevos puentes peatonales; 2) ampliación,

RECUADRO 15.9.

Mejoras de seguridad en un sistema ferroviario suburbano existente: Mumbai (India) *(Continuación)*

ensanchamiento y mejora de las interconexiones entre puentes peatonales; 3) nuevos andenes en las estaciones; 4) ensanchamiento y ampliación de andenes existentes; 5) instalación de escaleras mecánicas y ascensores, y 6) construcción de muros y vallados reforzados, barreras para las vías y zonas verdes. Pese a que la tasa de accidentes sigue siendo elevada, los datos correspondientes a 2016 indican que el número de muertes va en descenso (Banco Mundial, 2017). Este tipo de mejoras de seguridad resultan fundamentales, no solo para la eficiencia operativa del servicio de transporte ferroviario, sino para la salud y la seguridad básica de los usuarios de esta modalidad de transporte y de los ciudadanos que residen en las zonas adyacentes a las líneas de transporte ferroviario urbano.

Fuente: Adaptado de Banco Mundial, 2017.

anexo de este capítulo). Estos programas o medidas pueden ser diferentes para un proyecto de desarrollo de infraestructura nueva y para un proyecto orientado a mejorar la sostenibilidad ambiental, de salud o social de un sistema ferroviario urbano existente (véase el recuadro 15.9).

Algunos impactos y riesgos de proyectos ferroviarios urbanos requerirán evaluaciones adicionales y, posiblemente, modificaciones del PGAS. Estas modificaciones pueden abordarse como parte del SGMASS y sus componentes conexos. La gestión adaptable es fundamental para el éxito de estas medidas de mitigación y programas de seguimiento de MASS.

Sistema de gestión de MASS

Un SGMASS contiene todos los componentes necesarios para una gestión adecuada de los impactos y riesgos relacionados con MASS. Es fundamental para proyectos complejos, como el desarrollo de nueva infraestructura ferroviaria urbana o la actualización de sistemas ferroviarios existentes.

El sistema puede constar de un único SGMASS integrado o dos sistemas de gestión independientes: uno para medio ambiente y otro para salud y seguridad. La elaboración del SGMASS es responsabilidad del organismo de ejecución del proyecto, el contratista de construcción o el contratista de O&M (según corresponda al proyecto en cuestión), pero debe adherir a los principios y conceptos de las normas aceptadas en el ámbito internacional, como la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) 14001 para

el medio ambiente (ISO, 2015) y los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (OHSAS) 18001 para la salud y la seguridad (British Standards Institution, 2017). Por ejemplo, un servicio de gestión ambiental (SGA) conforme a la ISO 14001 cubre lo siguiente: 1) contexto de la organización (alcance del SGA y requisitos generales); 2) liderazgo (política, funciones, responsabilidades y autoridades en materia ambiental); 3) planificación (aspectos e impactos, obligaciones de cumplimiento, riesgos, objetivos y metas en materia ambiental); 4) apoyo (recursos, capacitación, control de documentación y gestión de registros); 5) operación (control de procesos significativos en términos ambientales, gestión del cambio, planificación de emergencia, y respuesta); 6) evaluación de desempeño (seguimiento del desempeño ambiental, auditorías internas, exámenes de cumplimiento y examen de la gestión) y 7) mejora (medidas correctivas y preventivas). Un SGMASS se documenta por medio de políticas, planes (incluido el PGAS), procedimientos, indicadores de desempeño, responsabilidades, capacitación y auditorías e inspecciones periódicas. Debe incluir requisitos escritos de prevención, protección y control en materia de MASS para todos los componentes del proyecto. También debe incluir procedimientos escritos sobre cuándo y cómo se realizará una evaluación de los posibles impactos ambientales o de los riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores en relación con cada componente o actividad.

En el contexto de los proyectos ferroviarios urbanos, el SGMASS debe incluir las medidas de mitigación y los programas de seguimiento establecidos en 1) el PGAS en una EIAS aprobada del proyecto; 2) el permiso ambiental del proyecto y otros requisitos normativos de MASS; 3) el acuerdo de concesión o el contrato de construcción, y 4) el convenio legal con el proveedor de financiamiento del proyecto. El SGMASS también debe incluir aspectos laborales adecuados (véase la Norma de Desempeño 2 del Grupo Banco Mundial sobre mano de obra y condiciones laborales) como parte de la gestión de recursos humanos e incorporar aspectos ambientales, de salud y de seguridad en la gestión de subcontratistas y la adquisición de bienes y servicios (Grupo Banco Mundial, 2012). Otro componente del SGMASS incluye un mecanismo de comunicación social y reclamación. También es necesario incluir los costos relacionados con la implementación de estos requisitos.

El SGMASS se actualiza, según resulte necesario, a fin de reflejar las modificaciones y los diseños del proyecto, así como los resultados de otras evaluaciones o tareas de seguimiento y estudios de ingeniería específicos de impactos o riesgos relacionados con MASS (por ejemplo, de vibraciones, aguas subterráneas y condiciones geotécnicas) que puedan exigirse en virtud del acuerdo de concesión o el contrato de construcción.

Programas de seguimiento y supervisión de MASS

En un programa de seguimiento de MASS, deben recopilarse sistemáticamente datos de MASS a fin de determinar los efectos (impactos) reales de un proyecto en dichos ámbitos, el cumplimiento de los requisitos de MASS del proyecto, y el grado de implementación y de eficacia de las medidas de mitigación de impactos y riesgos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad. La información generada por el programa de seguimiento permite determinar si las medidas de mitigación y control han sido eficaces para lograr los objetivos establecidos. El programa de seguimiento también ayuda a identificar impactos imprevistos y a evaluar la adecuación de las medidas correctivas.

En el caso de los proyectos ferroviarios urbanos, los programas de seguimiento clave son los de calidad del aire (material particulado), ruido, vibraciones, aguas superficiales y subterráneas, suelo, recursos culturales, recursos arqueológicos, residuos, condiciones de salud y seguridad de los trabajadores, y accidentes o incidentes. El programa de seguimiento de MASS debe incluir descripciones y detalles técnicos de las medidas recomendadas, como 1) los parámetros que deben medirse, 2) puntos específicos de muestreo, 3) frecuencia y momento de las mediciones, 4) obtención de muestras y métodos de análisis, 5) límites de detección, cuando corresponda, 6) normas que deben aplicarse, 7) definición de límites que permitan identificar la necesidad de emprender medidas correctivas, y 8) procedimientos de control y garantía de calidad. El programa debe cumplir con toda norma regulatoria o normativa aplicable para la obtención y el análisis de muestras. Los niveles límite de los parámetros ambientales deben reflejar los límites específicos del proyecto que se hayan estipulado en los requisitos de MASS. En el programa debe describirse el enfoque previsto para el análisis, el examen y la elaboración de informes de los datos, y el enfoque para la incorporación de las conclusiones arrojadas por el programa de seguimiento en las medidas de mitigación del PGAS y el SGMASS. Dada la variedad de condiciones específicas de cada emplazamiento, el programa de seguimiento debe permitir realizar modificaciones en los mismos puntos de muestreo, por ejemplo, para reflejar las condiciones y temas de inquietud reales (como la presencia de polvo atribuible a la dirección del viento o el nivel de ruido atribuible a obras específicas en curso).

Una de las cuestiones clave es quién debe realizar el seguimiento de MASS. Si bien puede ser beneficioso que el concesionario o la empresa constructora se encarguen de todas las tareas de seguimiento de MASS, hay otras alternativas dignas de mención en las cuales el organismo de ejecución del proyecto realiza una parte del seguimiento, delega estos servicios directamente en un subcontratista o asigna las tareas de seguimiento a diferentes partes que participan en

el proyecto (por ejemplo, algunas a la empresa constructora y otras al supervisor independiente del proyecto). Debido a la complejidad que revisten los proyectos ferroviarios urbanos, lo más probable es que sean varias entidades las que lleven a cabo la supervisión relacionada con MASS, incluidos el organismo de ejecución del proyecto, el contratista u otros socios privados (como parte de su SGMASS), las instituciones financieras del proyecto y cualquier entidad del Gobierno responsable de la supervisión del contrato y el cumplimiento normativo en materia de MASS. Cada entidad tendrá un enfoque y objetivos claramente definidos en función de sus responsabilidades normativas o contractuales. Es crucial que los aspectos de los requisitos de MASS se supervisen en su totalidad y que no existan superposiciones considerables entre las distintas funciones y responsabilidades.

Los proyectos ferroviarios urbanos requieren un nivel de supervisión considerable. Por ejemplo, un proyecto de este tipo puede incluir varios emplazamientos de construcción con obras civiles de gran envergadura que se ejecutan de manera simultánea y probablemente las 24 horas del día, los 7 días de la semana. También se rigen por requisitos de MASS amplios y detallados que contemplan una gran variedad de cuestiones técnicas cuya gestión requiere de conocimientos especializados multidisciplinarios. Dado el alcance de las responsabilidades en materia de MASS y la cantidad de partes involucradas, es necesario contar con un plan o un procedimiento escrito establecido donde se defina de manera clara qué responsabilidades de supervisión de MASS se implementarán y quién las implementará. Este plan debe complementarse con la coordinación entre estas entidades y mediante un enfoque establecido que sintetice los resultados de todas las tareas de supervisión a fin de establecer una evaluación definitiva del nivel de cumplimiento del proyecto en términos de MASS y una postura clara al respecto.

A los efectos del seguimiento y la supervisión, resulta fundamental la adopción de un enfoque definido para utilizar la información recopilada con el fin de resolver las deficiencias identificadas en materia de MASS (como los incumplimientos o la existencia de impactos o riesgos que no pudieron mitigarse) y mejorar el desempeño en términos de MASS. Para poder dar respuesta a las problemáticas de MASS que surjan durante la construcción y la operación, es necesario un enfoque establecido para el examen y el análisis de la información de supervisión en materia de MASS y los datos de seguimiento, como así también un proceso para la traducción de las conclusiones en medidas correctivas o en mejores medidas de mitigación. En lo posible, estas correcciones deben realizarse directamente en el momento en que se identifican las deficiencias (sobre el terreno). Otras pueden requerir un análisis más exhaustivo y la toma de decisiones sobre la medida más conveniente.

Hay otros dos aspectos importantes de los proyectos ferroviarios urbanos en virtud del gran volumen de documentación de MASS y datos de seguimiento que se generará:

- *Un sistema de gestión de documentación establecido, funcional y bien organizado.* El sistema debe contemplar el almacenamiento de toda la documentación de MASS —incluidos todos los planes, estudios, permisos (con sus respectivas solicitudes), informes de situación o de desempeño, documentación de supervisión e informes de seguimiento— y contar con el personal adecuado para su mantenimiento.
- *Una herramienta de tecnología de la información para gestionar todos los datos de seguimiento de MASS del proyecto, que incluya el almacenamiento, el análisis y la elaboración de informes de los datos.* En un proyecto se recopila una gran cantidad de datos a lo largo del tiempo. Como el seguimiento de MASS tiene como propósito evaluar el desempeño y utilizar los resultados para realizar cambios en la gestión de MASS, es necesario implementar una manera eficaz y eficiente de llevar a cabo análisis de datos y elaboración de informes de forma rutinaria. Esto reviste especial pertinencia en el caso de las estadísticas sobre construcción de túneles (gas, agua, suelo y vibraciones) y estaciones (ruido y calidad del aire), transporte y eliminación final del material extraído, y salud y seguridad de los trabajadores.

Funciones y responsabilidades en materia de MASS

Debido a la envergadura, las estructuras institucionales y de ejecución de proyectos, y los convenios de financiamiento de los proyectos ferroviarios urbanos, lo más probable es que las responsabilidades relativas a la gestión de MASS se distribuyan entre las entidades del Gobierno y las empresas del sector privado. Las responsabilidades exactas se determinarán en los contratos de construcción o de O&M del proyecto (según corresponda). Esta responsabilidad distribuida plantea un importante desafío a la hora de garantizar una implementación completa, eficaz y eficiente de todos los requisitos de MASS y una mitigación adecuada de todos los impactos del proyecto relacionados con MASS.

La definición clara de las responsabilidades es un aspecto crucial y debe llevarse a cabo como parte de la planificación, el diseño y la asignación de riesgos del proyecto. La eficacia de la coordinación y la comunicación es vital, al igual que el compromiso de identificar y resolver problemas de manera proactiva y de entender que todas las partes interesadas son responsables de garantizar una gestión de MASS sólida, independientemente de las responsabilidades legales o

contractuales establecidas. Las instituciones financieras del proyecto y las comunidades locales también tienen una función en la gestión de MASS.

En las siguientes subsecciones, se resumen algunas cuestiones clave relacionadas con las funciones y responsabilidades en materia de MASS de las entidades del Gobierno, las empresas de supervisión, los contratistas del sector privado y las instituciones que proveen financiamiento al proyecto.

Entidades del Gobierno

El organismo de ejecución del proyecto debe conservar parte de las responsabilidades en materia de MASS. Entre ellas se incluyen 1) los aspectos ambientales, de salud y de seguridad inherentes a la factibilidad del proyecto y los diseños; 2) la obtención inicial de permisos ambientales (preparación de la EIAS y obtención de la aprobación normativa); 3) supervisión de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad del proyecto; 4) coordinación e informe del desempeño en términos de MASS a otras entidades del Gobierno que tengan responsabilidades relacionadas con esos ámbitos, y 5) coordinación y presentación de informes a los financiadores del proyecto. El organismo de ejecución del proyecto también puede ejecutar directamente algunos programas específicos de gestión de MASS, como la gestión del tráfico durante la construcción, la evaluación y eliminación final de pasivos ambientales existentes (suelo contaminado) o la coordinación de la gestión de MASS de obras complementarias o relacionadas (incluidas mejoras en estaciones, instalaciones para acceso no motorizado e integración multimodal). El organismo de ejecución del proyecto debe contar con personal técnicamente cualificado —incluidos empleados o consultores especializados en MASS, recursos culturales e impactos sociales— y recursos (presupuesto) para gestionar los aspectos ambientales, de salud y de seguridad y realizar el seguimiento correspondiente. Es menester contar con personal técnico exclusivo y establecer las relaciones necesarias para brindarle apoyo (por ejemplo, el examen de un informe o una problemática técnica específica) cuando resulte necesario. Este apoyo debe estar a cargo de otros organismos del Gobierno o consultores.

Una entidad del Gobierno (el Ministerio de Medio Ambiente u otro organismo similar) será responsable, al amparo de la legislación nacional, de examinar y aprobar la EIAS del proyecto, emitir permisos ambientales y supervisar los requisitos normativos y los permisos ambientales del proyecto. De igual modo, una entidad del Gobierno será responsable de garantizar el cumplimiento de las regulaciones sobre salud y seguridad de los trabajadores.

Una entidad del Gobierno también será responsable de supervisar los contratos del proyecto, incluidos los requisitos de MASS. Normalmente, se contrata a una empresa de supervisión del sector privado para ampliar la capacidad

existente de la entidad del Gobierno y, como parte de los términos de referencia del contrato, generalmente se requiere la contratación de uno o más especialistas en MASS. Entre las actividades principales de la empresa de supervisión se incluyen la supervisión y el seguimiento sobre el terreno y el examen de documentación de planes, procedimientos, estudios y aspectos ambientales, de salud y de seguridad de los informes de desempeño o de situación de la construcción. Un plan escrito de supervisión de MASS debe incluir detalles sobre 1) el personal (cantidad, capacidad técnica, responsabilidades y organización jerárquica clara); 2) los informes (mensuales) de rutina sobre la situación y el desempeño del proyecto en términos de MASS; 3) los métodos de examen técnico de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad de los planes, estudios e informes pertinentes, y 4) el formato, el contenido y el uso de informes de supervisión diarios. Si bien estos conocimientos especializados externos y complementarios son útiles, es necesario que la entidad del Gobierno cuente también con personal interno capaz de comprender los aspectos ambientales, de salud y de seguridad relacionados con el proyecto, de modo que puedan supervisar y orientar de manera adecuada a la empresa de supervisión contratada.

Otras entidades del Gobierno que probablemente participen en la gestión de MASS de un proyecto ferroviario urbano son aquellas responsables de 1) la aprobación de las actividades relacionadas con recursos arqueológicos y los permisos correspondientes, si fueran necesarias; 2) el control y la gestión del tráfico; 3) la gestión de las áreas de eliminación final del terreno; 4) la aprobación de la gestión o la eliminación de suelo o aguas subterráneas contaminados, y 5) la gestión de parques y espacios verdes urbanos y la tala de árboles.

Dada la variedad de entidades del Gobierno involucradas, se necesita algún tipo de acuerdo interinstitucional para definir las responsabilidades específicas, el plazo de participación y las contribuciones de recursos de cada entidad. Estos acuerdos deben exigir de manera clara el cumplimiento de todos los requisitos normativos de MASS a nivel del país, incluida la obtención de todos los permisos necesarios. En el acuerdo también debe indicarse 1) la principal entidad del Gobierno con derecho a realizar visitas al emplazamiento para conocer la situación y el desempeño de la gestión de MASS; 2) el organismo de ejecución designado para presentar la información pertinente relativa a la gestión de MASS, los permisos de MASS, y los informes de situación o desempeño, y 3) un cronograma de las reuniones y discusiones relacionadas con la gestión de MASS. Si hay diferencias significativas entre los requisitos de MASS propios del país y los establecidos en las políticas y los requerimientos de las instituciones financieras, será necesario un enfoque para emprender las medidas adicionales exigidas por los financiadores.

Se requiere un procedimiento adicional para definir las medidas que se tomarán en caso de incumplimiento o de detección de un nivel de riesgo considerable sobre el terreno (inspecciones). El procedimiento debe basarse en los requisitos y las responsabilidades normativas propias del país y en las responsabilidades contractuales del proyecto. Debe contemplar medidas como la interrupción de las obras por problemas de MASS, la investigación y la subsanación del incumplimiento, y la emisión de la notificación correspondiente sobre eventos importantes relacionados con MASS.

Es probable que la capacidad y las aptitudes de los organismos del Gobierno para ejercer sus responsabilidades y gestionar los aspectos ambientales, de salud y de seguridad pertinentes varíen de una entidad a otra. En muchos casos, estos organismos no tienen experiencia, o tienen una experiencia mínima, en construcción y operación de proyectos ferroviarios urbanos de gran envergadura. Por ende, es recomendable y necesario reforzar la capacidad y la capacitación a lo largo de todo el proceso de desarrollo del proyecto, particularmente cuando se establecen por primera vez los planes de gestión del proyecto (véase el capítulo 4). Este fortalecimiento de la capacidad debe estipularse en un plan y contar con el apoyo financiero necesario (por ejemplo, por medio de préstamos del sector público a la entidad del Gobierno responsable del proyecto).

Contratistas del sector privado

Una empresa del sector privado o, probablemente, un consorcio será responsable de la construcción del proyecto y también, posiblemente, de la O&M, de acuerdo con el contrato del proyecto. En el contrato se establecerán los requisitos en materia de MASS específicos del proyecto, pero también se incluirán 1) el cumplimiento de todos los requisitos normativos aplicables del país, la EIAS (y el PGAS) que aprobó el Gobierno y los permisos ambientales y 2) la formulación e implementación de un SGMASS conforme a normas internacionales (como la ISO 14001 y la OHSAS 18001). En el contrato también puede estipularse el cumplimiento de los requisitos en materia de MASS de las instituciones financieras. Es importante establecer que todos los subcontratistas deberán 1) cumplir con los requisitos de MASS definidos; 2) brindar capacitación sobre MASS a sus trabajadores; 3) presentar de manera habitual (mensualmente) informes de situación o desempeño del proyecto, donde se incluyan los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, y 4) mantener ciertos tipos de seguro contra los riesgos del proyecto relacionados con MASS.

Incluso cuando la gestión de MASS se delegue en la entidad privada, el organismo de ejecución del proyecto u otra entidad del Gobierno deberá conservar parte de la responsabilidad de supervisión y aprobación a fin de garantizar que el proyecto cumpla con los requisitos en materia de MASS normativos y de las

instituciones financieras correspondientes. La entidad de supervisión y la empresa del sector privado deben reunirse regularmente (todas las semanas o cada dos semanas) para tratar los aspectos ambientales, de salud y de seguridad.

Instituciones financieras

La coordinación y el informe periódico del desempeño en materia de MASS también son elementos necesarios de la relación con los financiadores del proyecto. En particular, es probable que las instituciones financieras necesiten examinar y registrar una no objeción formal respecto de los principales planes de MASS del concesionario, de modificaciones significativas propuestas para el PGAS o el SGMASS, o de cambios en el diseño del proyecto que podrían ocasionar riesgos o impactos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad, ya sean nuevos o que no se hayan evaluado anteriormente.

Para los proyectos, como los de transporte ferroviario urbano, que probablemente impliquen la participación de varios financiadores, estas instituciones deberán coordinarse entre sí para establecer un enfoque eficaz y eficiente para la implementación en materia de MASS que cumpla con las necesidades de cada una sin que ello conlleve esfuerzos desproporcionados por parte del cliente. Este enfoque incluye 1) un informe de desempeño ambiental y social que el cliente deberá preparar para todos los prestamistas; 2) una combinación de las misiones de supervisión de los prestamistas, y 3) la coordinación entre las instituciones financieras en cuanto a la presentación de comentarios al cliente. También debe abordar el modo en que los financiadores coordinarán sus exámenes de cualquier plan o informe aplicable y sus visitas de supervisión al emplazamiento del proyecto.

Informes sobre MASS

Durante el seguimiento y la supervisión del desempeño en relación con los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, se generan diferentes informes de desempeño en términos de MASS que son preparados, por ejemplo, por el concesionario o el contratista de construcción del sector privado y también por la entidad de Gobierno (o la empresa de supervisión que se desempeñe en su nombre) responsable de supervisar los contratos del proyecto. El informe sobre MASS suele formar parte de un informe mensual más amplio donde se notifica la situación del proyecto junto con los aspectos técnicos y de otra índole. Es probable que deban prepararse anualmente otros informes de auditoría sobre MASS a fin de cumplir con los requisitos de los permisos ambientales, los requisitos normativos, los requisitos de los financiadores o las políticas de las empresas privadas estipulados en el contrato del proyecto.

En los informes de desempeño o situación sobre MASS se presenta un resumen exhaustivo y preciso del estado del proyecto en términos de MASS según formatos estandarizados. Deben tomarse las medidas necesarias para coordinar los distintos informes a fin de garantizar la coherencia de los resultados informados y minimizar la duplicación de esfuerzos. En el informe deben incluirse, como mínimo: 1) una descripción del cumplimiento del proyecto de los requisitos de MASS; 2) una descripción de cualquier impacto significativo, relacionado con el proyecto, en la salud humana, el medio ambiente o factores sociales (accidentes o muertes de trabajadores, derrames o emisiones) que se haya producido desde el último informe de seguimiento; 3) un resumen de los resultados o datos clave de los programas de seguimiento de MASS durante el período de informe; 4) una descripción de cualquier impacto o riesgo potencial o existente relacionado con MASS que no se haya mitigado o compensado adecuadamente y de cualquier reclamación judicial o queja, demanda o reclamación material relacionada con aspectos ambientales, de salud y de seguridad, y 5) una descripción resumida de todos los problemas y hallazgos de importancia y las respectivas medidas recomendadas. Las acciones recomendadas deben presentarse en un formato de cuadro e incluir alguna medida de relevancia (por ejemplo, nivel de impacto, riesgo o incumplimiento) a fin de facilitar su priorización y el seguimiento de su implementación. En el informe deben definirse las medidas necesarias para abordar o resolver los problemas existentes, incluidas las acciones, el plazo, la responsabilidad, el costo y el estado (lo que incluye la confirmación de las acciones realizadas o los problemas resueltos). Idealmente, para asistir a los responsables de la toma de decisiones, en el informe debe incluirse algún tipo de resumen o calificación general de riesgos y desempeño en términos de MASS.

A continuación, se incluyen ejemplos de posibles problemas de importancia que deben informarse: 1) una orden de incumplimiento, emitida por el organismo de regulación ambiental o de seguridad de los trabajadores, de reclamos judiciales relacionados con MASS; 2) incumplimiento de acciones establecidas para resolver un incumplimiento previo, un problema principal o una acción recomendada en el último informe; 3) cambios en el proyecto que generen un impacto o riesgo negativo relacionado con MASS y requieran ajustes en el PGAS y el SGMASS; 4) cualquier resultado significativo en relación con la implementación de planes o procedimientos de MASS (mitigación o medidas de control ineficaces); 5) cualquier carencia del programa de seguimiento de MASS; 6) problemas significativos relacionados con los cronogramas (medidas no implementadas conforme a lo previsto) o costos de MASS (aumento considerable en los gastos reales respecto de los presupuestados), y 7) cuestiones o actividades de importancia que sea necesario plantear en el próximo período de evaluación.

Licitaciones, contratos y gestión de contratos

La gestión de MASS debe incluirse en los documentos de licitación y contratación del proyecto, en particular en los contratos que cubran 1) la evaluación de la factibilidad del proyecto; 2) el diseño del proyecto; 3) la formulación de la EIAS; 4) la ejecución de obras de infraestructura; 5) el supervisor independiente de los contratos o la construcción del proyecto, o 6) la operación. En particular, en la evaluación de factibilidad y los contratos de diseño del proyecto deben evaluarse alternativas donde se consideren los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, se identifiquen los posibles riesgos principales relacionados con MASS y sus costos, y se recomienden métodos para mejorar la sostenibilidad ambiental. Los aspectos clave de las licitaciones y los contratos de EIAS y de los supervisores independientes de la construcción del proyecto se especifican en las secciones previas de este capítulo, e incluyen la capacidad técnica, el alcance de las tareas (aspectos administrativos, supervisión sobre el terreno y seguimiento), la elaboración de informes, y los recursos. La inclusión de la gestión de MASS en los contratos debe basarse en las aportaciones y la supervisión de especialistas técnicos en MASS debidamente cualificados y debe incorporar prácticas sólidas de gestión de contratos.

Debido a su magnitud y alcance y a la necesidad de financiamiento internacional, en los contratos de proyectos ferroviarios urbanos surge la necesidad de incorporar diferentes requisitos potenciales para MASS. Los requisitos de MASS incluyen los establecidos:

- como parte de la legislación aplicable del país (nacional, estatal o provincial, o municipal), incluidos todos los permisos y las autorizaciones aplicables, la EIAS (o evaluación similar) aprobada del proyecto y el PGAS (o plan similar) conexo, y los límites normativos de MASS establecidos (para emisiones, descargas y condiciones ambientales, entre otros);
- en el contrato de construcción o de O&M del proyecto, que debe incluir la propuesta técnica del contratista seleccionado;
- por los financiadores involucrados en el proyecto (bancos multilaterales de desarrollo, organismos de crédito a la exportación o bancos comerciales privados), incluidos los requisitos establecidos en el convenio legal o de préstamo del proyecto.

Otros requisitos potencialmente aplicables incluyen los establecidos 1) en tratados, convenciones o acuerdos internacionales ratificados por el país; 2) por las buenas prácticas internacionales del sector, como las normas o directrices internacionales (ISO 14000 u OHSAS 18001), y 3) en la política de MASS adoptada por el contratista del proyecto.

CUADRO 15.2. Términos y condiciones de MASS representativos para contratos de proyectos ferroviarios urbanos

ÁMBITO DEL CONTRATO	TÉRMINOS Y CONDICIONES
Definiciones	• definir términos clave relativos al medio ambiente, la salud y la seguridad en el contrato, como requisitos de MASS, EIAS, PGAS, SGMASS, reclamaciones sobre MASS e informe de desempeño en términos de MASS.
Cláusulas	• diseñar, construir, operar, mantener y supervisar el proyecto en cumplimiento de todos los requisitos de MASS y garantizar, en cualquier caso, que todos los impactos o riesgos del proyecto relacionados con aspectos ambientales y sociales se hayan mitigado adecuadamente o compensado: a) si se modifica el diseño del proyecto, obtener cualquier permiso ambiental adicional o modificación de un permiso existente y realizar ajustes en el PGAS y el SGMASS para implementar estos cambios y b) garantizar que todos los subcontratistas y operadores pertinentes cumplan con los requisitos de MASS; • implementar un SGMASS y llevar a cabo una divulgación continua de información y consultas públicas; • proporcionar, de manera habitual, informes de desempeño en términos de MASS y notificar a la brevedad cualquier acontecimiento significativo o incumplimiento relacionado con aspectos ambientales, de salud o de seguridad; • recibir todos los estudios y planes sobre MASS relacionados con el proyecto y verificar que la información en ellos consignada sea verdadera y completa y no sea engañosa; • presentar, en forma y contenido, todos los estudios relacionados con MASS y el PGAS, el SGMASS y los permisos ambientales del proyecto conforme a lo establecido en el contrato; • no realizar cambios significativos en el PGAS o el SGMASS sin consentimiento por escrito.
Pagos o desembolsos	• certificación del contratista de que el proyecto cumple con los requisitos de MASS; • confirmación o certificación del supervisor independiente de que, en relación con el proyecto y todas las partes intervinientes, a) hay cumplimiento de los requisitos de MASS, b) no existen impactos adversos ni riesgos en relación con los aspectos ambientales, de salud y de seguridad que no se hayan mitigado adecuadamente o compensado, y c) no existen reclamaciones conocidas ni quejas materiales relacionados con aspectos ambientales, de salud y de seguridad fuera de los ya identificados en los informes de desempeño en términos de MASS.
Otras consideraciones	• definir responsabilidades para a) la implementación de programas de MASS específicos (por ejemplo, de mitigación y seguimiento) según se detalla en el PGAS o en otros documentos y b) el manejo de riesgos de MASS potencialmente desconocidos, incluidos hallazgos arqueológicos, contaminación del suelo y las aguas subterráneas y condiciones geológicas;

(El cuadro continúa en la página siguiente.)

CUADRO 15.2. Términos y condiciones de MASS representativos para contratos de proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

ÁMBITO DEL CONTRATO	TÉRMINOS Y CONDICIONES
Otras consideraciones	• definir medidas contra los riesgos financieros específicos del proyecto relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad, como el tipo de seguro exigido y sus respectivos montos, y el uso de mecanismos financieros (garantías de cumplimiento, cuentas de contingencia y apoyo de los patrocinadores del proyecto) para controlar el riesgo ambiental, de salud y de seguridad garantizando el cumplimiento y proporcionando los recursos adicionales necesarios; • preparar un plan de sostenibilidad ambiental; • cumplir con los requisitos de MASS para la finalización técnica del proyecto, como la presentación por parte del supervisor independiente de un informe final sobre MASS de la construcción y un SGMASS aceptables, para confirmar o certificar el cumplimiento de los requisitos de MASS a los efectos de la O&M; • contratar a un supervisor independiente (ingeniero o consultor) para que supervise los requisitos de MASS; • especificar los resarcimientos relacionados con potenciales reclamaciones sobre MASS; • otorgar la autorización pertinente para que el propietario del proyecto o la institución financiera contraten a un consultor independiente para que realice una auditoría sobre MASS independiente.
Condiciones adicionales para el convenio de préstamo de la institución financiera: declaraciones y garantías	• ausencia de obligaciones de MASS pasadas o actuales relacionadas con el proyecto y el emplazamiento del proyecto; • ausencia de reclamaciones o quejas materiales relacionadas con el medio ambiente; • ausencia de incumplimientos pasados o actuales de requisitos legales del país, políticas de las instituciones financieras o requisitos relativos a operaciones; • recepción de todos los estudios e informes sobre MASS relacionados con el proyecto y verificación de que la información en ellos consignada sea verdadera y completa y no sea engañosa.

Es necesario incluir otros términos y condiciones de MASS en los contratos del proyecto dependiendo del modelo de ejecución, la estructura de transferencia de riesgos y el financiamiento del proyecto específico. En el cuadro 15.2 se muestra una lista de los principales términos y condiciones de MASS.

En los documentos de licitación y contractuales del proyecto, debe solicitarse la preparación de un plan de gestión de la sostenibilidad ambiental del proyecto, donde se establezca el modo en que el contratista implementará medidas orientadas a la sostenibilidad, incluidos equipos y tecnologías, y la forma en que medirá e informará los datos sobre la implementación real, como consumo de combustible, energía y agua, y manipulación de materiales

primarios (cemento, materiales básicos, materiales peligrosos y residuos). Como parte de los requisitos contractuales, debe especificarse el tipo de acciones tendientes a la sostenibilidad esperadas para todo el proyecto o basadas en el logro de un nivel o resultado particular. Las acciones tendientes a la sostenibilidad podrían expresarse como cláusulas de "máximo empeño", con lo cual no se impondrían sanciones si el contratista no las cumpliera. Como alternativa, las acciones tendientes a la sostenibilidad podrían incluir 1) penalizaciones si el contratista no cumple con los requisitos establecidos o 2) incentivos financieros u otras recompensas si el contratista cumple con los requisitos mínimos o los supera. Además de ofrecer un entorno que permita una mejor alineación entre los intereses del contratista y las consideraciones en materia de MASS, el organismo de ejecución del proyecto debe dedicar tiempo y recursos considerables a realizar un seguimiento para verificar si los requisitos establecidos se han cumplido o no.

Esto adquiere especial pertinencia cuando los requisitos de MASS se rigen por varios documentos, contratos y permisos, y cuando se asignan responsabilidades por las acciones a una serie de entidades. Por tal motivo, es esencial resumir todos los requisitos de MASS pertinentes en un único documento (cuadro) a fin de garantizar que todas las acciones en materia de MASS exigidas se implementen de manera integral, eficaz y eficiente. En el cuadro debe indicarse de manera clara quién es responsable de la implementación y, en la medida en que corresponda, el plazo estipulado para cumplir cada requisito. En el cuadro también deben consignarse los límites específicos del proyecto relacionados con los criterios de MASS, incluidos aire, agua, ruido, vibraciones, residuos, y salud y seguridad de los trabajadores.

Gestión de MASS adaptable

La opción recomendada para los proyectos ferroviarios urbanos es un enfoque adaptable para la gestión de MASS porque la definición y la finalización de los detalles del proyecto pueden cambiar con el tiempo. La complejidad y la magnitud de los proyectos ferroviarios urbanos junto con la amplia variedad de condiciones que pueden encontrarse harán necesaria la adaptación de las actividades de supervisión y los programas de seguimiento ambiental. Esta flexibilidad no solo contribuye a la respuesta a las condiciones cambiantes, sino que también abre la puerta a oportunidades para la implementación de medidas de sostenibilidad ambiental que traen consigo menores costos y mayores beneficios.

Si bien la planificación y el diseño son muy importantes, las incertidumbres en torno a los proyectos ferroviarios urbanos hacen que un análisis preliminar generalmente no sea suficiente. La supervisión y el seguimiento son necesarios

durante la ejecución (que es cuando efectivamente se presentan los problemas y se producen los impactos) a fin de promover la eficiencia y la eficacia, garantizar la gestión adecuada de todos los impactos y riesgos del proyecto, elaborar proyectos más sostenibles desde el punto de vista ambiental (uso de menos materiales o generación de menos residuos) y lograr más impactos positivos. La gestión de MASS adaptable permite cumplir este cometido mediante la incorporación de datos o información recopilada, nuevas tecnologías o enfoques, y aportaciones recibidas de las comunidades locales y otras partes interesadas.

La gestión adaptable es congruente con varias normas internacionales de SGMASS y buenas prácticas del sector a través de las cuales:

- se define el enfoque para el examen, la actualización y la mejora en forma permanente a través del SGMASS;
- se brindan los medios para justificar los plazos del proyecto, como detalles del diseño conocidos al momento de la realización de la EIAS en contraposición al momento del inicio de la construcción del proyecto;
- se establece un mecanismo para ajustar las medidas de mitigación (o los programas de seguimiento) que no están funcionando;
- se elabora un marco para el seguimiento de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad mediante la provisión de un enfoque para el análisis de datos de rutina para asistir en la toma de decisiones y en la adaptación del PGAS y el SGMASS;
- se establece un enfoque para abordar los cambios en el proyecto, los cambios imprevistos o los cambios en los impactos o los riesgos, y las nuevas leyes o regulaciones;
- se utiliza un plan de acción correctiva para resolver problemas (como incumplimientos o deficiencias);
- se establecen planes de contingencia, de emergencia y contra derrames de modo que las medidas documentadas puedan adaptarse sobre el terreno en función de los detalles y las condiciones reales relacionados con un acontecimiento específico.

Durante el diseño, se optimizará el proyecto a fin de mejorar la eficiencia de costos (véase el capítulo 6). Si bien esta optimización del diseño y de las obras de construcción se centra en la reducción de los costos del proyecto, es importante garantizar que los cambios no agraven los impactos ambientales

negativos. En la optimización deben considerarse los impactos y riesgos ambientales conexos y hacerse los ajustes correspondientes en los planes y sistemas de gestión de MASS.

Debe establecerse un proceso o marco de toma de decisiones específico del proyecto para la gestión adaptable. Los siguientes son elementos clave de este proceso:

- *Eficiencia*. Garantizar que todos los cambios positivos o las acciones necesarias se produzcan de manera simplificada (algo particularmente difícil en el caso de las grandes instituciones).
- *Escala*. Definir el grado de modificación que requiere examen o aprobación. Esta definición debe basarse en la importancia, que es congruente con sistemas de gestión eficaces y, cuando corresponde, con las regulaciones y la obtención de permisos ambientales.
- *Datos*. Usar datos de seguimiento de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad u observaciones en el terreno como base para evaluar y realizar una modificación; el grado de certeza de los datos debe ser proporcional al nivel del impacto o el riesgo o de la oportunidad de mejora.
- *Responsabilidades*. Definir quién realiza la evaluación y toma la decisión (por ejemplo, el organismo de ejecución del proyecto, el organismo de regulación ambiental, el supervisor independiente o el contratista privado).
- *Medios*. Definir los medios para documentar o autorizar cambios o acciones. Por ejemplo, la documentación podría incluirse en los planes de acción correctiva, podría modificar el PGAS y el SGMASS existentes o podría formar parte de un contrato o requisito más amplio del proyecto.
- *Recursos*. Decidir si son necesarios recursos adicionales y determinar sus fuentes (por ejemplo, asignación de riesgos a una entidad en un contrato, financiamiento de contingencia, bonos, seguro, y financiamiento adicional).

Una clave para el éxito de la gestión de MASS y de la elaboración de proyectos ferroviarios urbanos ambientalmente sostenibles es el intercambio de conocimientos y el fortalecimiento de la capacidad entre los diferentes especialistas y entidades participantes (véase el recuadro 5.10). Por consiguiente, es necesario que el PGAS y el SGMASS del proyecto incluyan mecanismos que permitan al personal del organismo de ejecución del proyecto fortalecer la capacidad interna, aprender de los conocimientos previos de los expertos y de la experiencia de otros proyectos, e incorporar estas buenas prácticas y enseñanzas aprendidas. El uso eficaz de los expertos externos y la inclusión explícita de la transferencia de

RECUADRO 15.10.

Plataforma de Conocimiento sobre Construcción Ambientalmente Sostenible de Infraestructura en América Latina y el Caribe

El Grupo Banco Mundial, con el apoyo financiero del Fondo Español para América Latina y el Caribe, ha desarrollado una Plataforma web de Conocimiento sobre Construcción Ambientalmente Sostenible de Infraestructura en América Latina y el Caribe (KPESIC), gratuita y bilingüe (disponible en inglés y en español), para una mejor gestión ambiental y social en proyectos de infraestructura de América Latina y el Caribe. A través de KPESIC, se apoya la transferencia de conocimientos, el fortalecimiento de la capacidad, la innovación y el aprendizaje de enseñanzas en la construcción de infraestructura ambientalmente sostenible, y se ofrece un foro para aportar ideas y soluciones. La información y los recursos de KPESIC se organizan en las siguientes categorías:

- sectores y temas (con informes técnicos, estudios, documentos orientativos, materiales de capacitación y estudios de casos pertinentes);
- materiales, tecnologías y equipos;
- países (leyes y regulaciones, permisos ambientales, entidades y datos ambientales);
- noticias y eventos (noticias, conferencias o simposios, y talleres);
- intercambio de conocimientos (temas y foros de debate, grupos de trabajo, seminarios web, aprendizaje electrónico, entrevistas y materiales de capacitación)

Nota: Véase el sitio web de KPESIC.

conocimientos en los contratos pueden constituir importantes beneficios para los organismos de ejecución de proyectos en países de ingreso bajo y medio que puedan carecer de la capacidad técnica necesaria para abordar todos los aspectos y las oportunidades de la gestión de MASS y el desarrollo de infraestructura ambientalmente sostenible (véase también el capítulo 4).

Conclusiones y recomendaciones

El objetivo de la gestión de MASS en proyectos ferroviarios urbanos es la gestión eficaz y eficiente de todos los impactos y riesgos relacionados con MASS, y la mejora de la sostenibilidad ambiental, lo cual trae aparejados mejores resultados y beneficios en el marco del proyecto. En las siguientes recomendaciones se destacan los componentes clave para alcanzar este objetivo.

Es importante considerar los impactos, los riesgos y las oportunidades de sostenibilidad relacionados con MASS desde un primer momento y de

manera frecuente a lo largo del proceso de desarrollo del proyecto. La participación temprana y continua de especialistas en MASS con las calificaciones técnicas necesarias durante todo el desarrollo del proyecto (planificación, diseño, construcción y O&M) es esencial para el éxito del proyecto. Este proceso debe comenzar con una minuciosa consideración de los aspectos ambientales, de salud y de seguridad durante la planificación del proyecto, lo que incluirá una variedad de alternativas relacionadas con los trazados, las ubicaciones de las estaciones, los métodos de construcción y las medidas para reducir y mitigar los impactos y riesgos relacionados con MASS. Una evaluación sólida y exhaustiva de los posibles impactos directos, indirectos y acumulativos, los riesgos (técnicos y financieros) y las oportunidades de sostenibilidad en relación con el medio ambiente, la salud y la seguridad comienza antes de la elaboración de la EIAS del proyecto y continúa luego de su finalización.

Es fundamental invertir en un SGMASS que se adapte a las condiciones cambiantes del proyecto. Cada proyecto debe contar con un SGMASS integral que incluya planes, procedimientos, responsabilidades, recursos, capacitación, seguimiento, supervisión, términos y condiciones contractuales, y gestión de contratos. Este sistema de gestión debe abarcar un enfoque jerárquico de impactos y riesgos relacionados con MASS: evitar, minimizar o reducir, mitigar, y compensar. En el marco de este SGMASS, se debe formular y actualizar periódicamente una estimación completa y precisa de costos y riesgos financieros relacionados con el proyecto y de medidas adecuadas de gestión de riesgos (ya que los riesgos relacionados con MASS pueden causar riesgos financieros significativos y afectar la viabilidad del proyecto). Un enfoque adaptable para la gestión de MASS que responda a los cambios, los resultados reales y el desempeño del proyecto garantizará una gestión óptima de los impactos y riesgos relacionados con MASS, así como resultados ambientalmente sostenibles.

La gestión de MASS debe aprovecharse como una oportunidad de lograr mejoras complementarias y valor añadido La gestión de MASS incluye la identificación y la implementación de medidas orientadas a mejorar la sostenibilidad ambiental del proyecto (por ejemplo, el uso de una menor cantidad de materiales, la prevención de la contaminación, y más beneficios ambientales y sociales positivos). Si estas medidas se integran en todos los pasos del proceso de desarrollo del proyecto, producen mejores resultados, favorecen un uso más eficiente de los recursos financieros y mejoran las relaciones con la comunidad y sus percepciones en relación con el proyecto.

Anexo 15A. Detalles sobre programas de PGAS específicos en proyectos ferroviarios urbanos

CUADRO 15A.1. Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos

PROGRAMA O ÁMBITO DEL PGAS	COMENTARIOS
Reutilización y eliminación de la tierra	• plan adaptable, en vista de que posiblemente para la elección final de los emplazamientos se requiera de las aportaciones del concesionario o del contratista; • enfoque puesto en la reutilización, pero también en la coordinación de los momentos de las medidas (por ejemplo, generación contra reutilización, incluido cualquier permiso ambiental); • transporte en camiones y procedimientos que deben seguir los conductores, con supervisión y seguimiento.
Gestión de camiones y conductores	• finalización del análisis de las principales alternativas como parte del diseño y revisión del análisis junto con el concesionario o el contratista (quien compre o alquile los camiones y contrate a los conductores o bien subcontrate a otras empresas para la provisión de camiones y conductores); • control, inspección y documentación de los camiones antes de que abandonen el emplazamiento, incluida la eliminación de tierra de los neumáticos; • definición de rutas, velocidades y momentos (día o semana) permitidos; • requisitos y controles para los conductores, incluidos exámenes médicos (y análisis de sangre) y físicos, seguimiento permanente (de la vista y de consumo de alcohol y estupefacientes), capacitación de conductores, cantidad total de horas de trabajo diarias autorizadas, y desviaciones permitidas; • contratos de los conductores con requisitos y recursos en caso de incumplimiento claramente especificados; • uso de seguimiento electrónico (GPS), capacitación de conductores y paradas; • procedimiento para el mantenimiento de los camiones, incluida la selección de proveedores de servicios teniendo en cuenta los aspectos ambientales, de salud y de seguridad, el mantenimiento de rutina (lo que incluye garantizar el funcionamiento adecuado de los motores en relación con las emisiones y el ruido) y eliminación de aceite y otros líquidos, baterías y neumáticos usados.
Vibraciones	• plan adaptable formulado a partir de las condiciones (edificación y receptores) y evaluaciones (seguimiento de los valores de referencia y modelos matemáticos) específicas del emplazamiento; • acciones requeridas antes del inicio de las obras de construcción para evaluar y documentar el estado de las edificaciones; • seguimiento requerido durante la construcción, incluidas observaciones y mediciones sobre el terreno;

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 15A.1. Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

PROGRAMA O ÁMBITO DEL PGAS	COMENTARIOS
Vibraciones (continuación)	• procedimiento para recibir, evaluar y compensar (si corresponde) daños y perjuicios atribuibles a la construcción, y asignación de recursos financieros para cubrir este gasto; • definición de responsabilidades entre las diferentes entidades participantes en el proyecto.
Tala de árboles	• jerarquía de la mitigación: prevenir, minimizar, mitigar; • plan para evitar la tala de árboles con valor patrimonial, incluidos ajustes en el diseño del proyecto tendientes a minimizar los efectos sobre estos árboles; • si lo anterior resultara inevitable, implementación de planes aceptables para el trasplante (en la medida en que resulte viable desde el punto de vista técnico y económico) o el reemplazo de estos árboles y para su mantenimiento y cuidado a corto plazo; • coordinación adecuada con las autoridades normativas pertinentes del Gobierno; • comunicación con las partes interesadas para evitar o minimizar las inquietudes o las protestas públicas; • análisis de alternativas para mejoras positivas, como mejoras en los parques, para contribuir a contrarrestar el impacto; • definición de un presupuesto y de partidas de contingencia suficientes, así como de recursos financieros, para cubrir todos los costos conexos.
Patrimonio arqueológico y cultural	• minuciosa evaluación de alternativas en el estudio de factibilidad, el diseño técnico y la EIAS; • gestión adaptable durante el diseño final con el contratista, que incluya los emplazamientos (estaciones, salidas de emergencia, pozos de ventilación, y zonas de preparación para la construcción); • cumplimiento de la legislación aplicable (permisos y procedimientos) y buenas prácticas internacionales; • según corresponda, seguimiento arqueológico adicional después de la EIAS, pero antes de la construcción; • seguimiento arqueológico durante la etapa de construcción, en el que participen especialistas sobre el terreno con la autoridad necesaria para detener las obras; • rescate y protección de patrimonio arqueológico en caso de hallazgos fortuitos; • medidas específicas (elaboración de informes, seguimiento) en sitios protegidos por la UNESCO.
Gestión de residuos	• jerarquía de la mitigación: evitar, reutilizar, reciclar, donar, eliminar. • procedimientos para minimizar los residuos: separación, reutilización, almacenamiento temporal, reciclaje, donación y eliminación; • inspecciones, seguimiento y documentación sobre el terreno del ciclo de los residuos;

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 15A.1. Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

PROGRAMA O ÁMBITO DEL PGAS	COMENTARIOS
Gestión de residuos (continuación)	• selección de proveedores de servicios de eliminación de residuos (transporte, reciclaje y eliminación) según criterios de MASS (incluido el cumplimiento de todos los requisitos normativos, la ausencia de problemas documentados de MASS relacionados con materiales en la operación y las instalaciones del emplazamiento, y el compromiso de brindar acceso para visitas al emplazamiento para tratar la gestión de MASS).
Gestión de aguas subterráneas	• actualización de un plan basado en las estimaciones finales de los volúmenes y los momentos para el bombeo de aguas subterráneas, según lo defina el contratista; • confirmación de los posibles usos de las aguas subterráneas y los impactos del bombeo (por ejemplo, asentamientos o hundimientos del terreno); • jerarquía de la mitigación: minimizar, reutilizar, eliminar; • seguimiento de aguas subterráneas, incluidos tasas y volúmenes de bombeo, calidad de las aguas subterráneas y estado de los acuíferos; • disposición final en cumplimiento de los requisitos normativos aplicables; • definición de medidas de contingencia, como el bombeo de volúmenes adicionales, aguas subterráneas contaminadas e impactos en los acuíferos (para otros usuarios o suelos circundantes);
Contaminación del suelo y las aguas subterráneas	• gestión adaptable, en particular, en relación con la contaminación durante la construcción; • evaluación de la posible contaminación del suelo y las aguas subterráneas en los emplazamientos donde se llevarán a cabo obras con tierra y excavaciones; las evaluaciones deben incluir a) una evaluación de fase 1 basada en información existente y en observaciones del emplazamiento para identificar posibles fuentes de contaminación, como industrias, estaciones de servicio, tintorerías, talleres de reparación de autos y camiones, y recolectores municipales de aguas residuales, y b) una evaluación de fase 2, si fuera necesaria, para recopilar datos de seguimiento (por ejemplo, suelo, aguas subterráneas y gas y vapor); • si existe una probabilidad razonable de contaminación, un plan de gestión específico que incluya a) un seguimiento durante la construcción, que consista en inspecciones visuales, seguimiento en el emplazamiento para detectar y confirmar niveles de contaminación (complementado, si fuera necesario, con análisis de laboratorio), b) almacenamiento temporal y tratamiento en el emplazamiento, c) eliminación final (tanto del agua como de la tierra), y d) procedimientos de salud y seguridad de los trabajadores; • definición de todas las aprobaciones normativas necesarias para la gestión y disposición final y de criterios específicos (límites de concentración de contaminantes) para la toma de decisiones; • capacitación específica para los trabajadores sobre la implementación de los procesos;

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 15A.1. Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

PROGRAMA O ÁMBITO DEL PGAS	COMENTARIOS
Contaminación del suelo y las aguas subterráneas (*continuación*)	• documentación de supervisión detallada de la implementación del plan; • definición de los recursos financieros necesarios y su origen; • para que pueda darse inicio a la construcción, implementación del tratamiento o la subsanación y, posteriormente, búsqueda del reembolso de los costos por parte del responsable de la contaminación.
Gestión del tráfico	• necesidad de un plan general y de planes y medidas específicos de cada emplazamiento o estación; • medidas de prevención de impactos y riesgos, como establecer las obras de los emplazamientos de construcción de manera que se minimicen las entradas y salidas de vehículos de las estaciones durante la hora punta de tráfico; • gestión adaptable que incluya inspecciones y seguimiento en el terreno durante la implementación y los ajustes del plan, según resulte necesario, a fin de reflejar la congestión de tráfico real u otros problemas conexos; • comunicación en tiempo real con el público antes de una obra específica de un emplazamiento (por ejemplo, por medio de carteles y anuncios en la radio o el periódico) y durante períodos clave de interferencia con el tráfico u horas punta de tráfico; • incorporación de consideraciones de seguridad comunitaria en el diseño del plan; • coordinación entre los distintos organismos del Gobierno con responsabilidades directas y aquellos con consecuencias directas (por ejemplo, el municipio); • entender que algunas acciones no pueden ser implementadas por una empresa constructora privada, sino que deben ser responsabilidad de la entidad gubernamental correspondiente.
Seguridad de la comunidad	• integración de riesgos y medidas de gestión de otros planes clave, como gestión de salud y seguridad y del tráfico; • gestión adaptable que permita realizar un seguimiento, efectuar ajustes o agregar medidas para reflejar los riesgos reales para la comunidad; • medidas importantes para reducir el riesgo para la comunidad, como vallados y otros medios de protección conexos en torno a los emplazamientos de las obras (incluidos refuerzos y protección visual), educación y carteles e información de identificación, y ubicación de riesgos para la seguridad (materiales explosivos e inflamables, generadores);

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 15A.1. Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

PROGRAMA O ÁMBITO DEL PGAS	COMENTARIOS
Interferencia y obras complementarias	• planificación y gestión de la protección y reubicación de servicios públicos, como tuberías de agua y aguas residuales, cables de electricidad, cables de telecomunicaciones y tuberías de gas natural; inclusión de las medidas de gestión de MASS requeridas, supervisión y seguimiento de la implementación, e informe final y confirmación de que las obras de construcción se han finalizado adecuadamente (por ejemplo, se han retirado todos los residuos o se ha completado la repavimentación conforme a lo requerido); • un plan o procedimiento para evaluar y gestionar los aspectos ambientales, de salud y de seguridad en cualquier obra complementaria del proyecto, incluido un procedimiento para evaluar los impactos y riesgos específicos relacionados con MASS y para establecer las medidas necesarias de mitigación y seguimiento, incluido el tratamiento de cualquier problema de cumplimiento normativo.
Provisión de materiales	• procedimiento para la selección de los principales proveedores de tierra, grava y cemento con criterios de MASS para su selección (o exclusión); • procedimiento para la confirmación durante el contrato de que no hay problemas de MASS considerables en la operación de las instalaciones del proveedor de materiales; • documentación de los resultados de la implementación de los procedimientos.
Gestión de contratistas	• integración de la gestión de contratistas de MASS en la gestión más amplia del proyecto: gestión de las adquisiciones, de recursos humanos, legal y financiera; • "prevención a través del diseño": evaluación de lo que hace el contratista principal en comparación con lo que hacen los subcontratistas; decisiones sobre abastecimiento de materiales y equipos; precalificación de los contratistas (cuándo, si es necesaria y para qué); uso de herramientas de tecnología de la información (tarjetas de identificación y sistemas de seguimiento y elaboración de informes para personal y capacitación); • contratos como requisito requerido, pero no suficiente: la gestión de contratistas incorpora la "gestión adaptable" para realizar un seguimiento y la correspondiente adaptación con el tiempo; integración con enfoque o conceptos de adquisiciones sostenibles; • fortalecimiento de la cultura y el compromiso mediante la demostración de la importancia de la gestión de MASS al presidente o director del organismo de ejecución del proyecto y al presidente o director de la empresa subcontratista; inclusión de aspectos ambientales, de salud y de seguridad en las reuniones e informes de rutina de la gerencia general del contratista del proyecto, donde se reflejen tanto críticas como sugerencias y elogios; designación de responsabilidades del personal de MASS (por ejemplo, interrupción de las obras); requisitos rigurosos y continuos de capacitación y participación de los gerentes; reconocimiento de la participación de los gerentes en la supervisión y la resolución de problemas en el emplazamiento, y otorgamiento de premios, reconocimientos e incentivos; • capacitación y planes de control de calidad.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 15A.1. Aspectos importantes de programas de PGAS seleccionados en proyectos ferroviarios urbanos *(Continuación)*

PROGRAMA O ÁMBITO DEL PGAS	COMENTARIOS
Obras de excavación de túneles o en ríos	• procedimiento o plan para las obras de excavación de túneles que pasen por debajo de ríos contaminados con un caudal de moderado a abundante (por ejemplo, volúmenes considerables de aguas residuales municipales sin tratar); • procedimientos especiales sobre salud y seguridad de los trabajadores (respecto del contacto con agua contaminada y las obras que se realicen sobre cursos de agua), desvíos de ríos y estabilidad de laderas, y comunicación con las partes interesadas de la comunidad local.
Gestión de la mano de obra	• cumplimiento de los requisitos laborales pertinentes (por ejemplo, legislación laboral del país, convenciones ratificadas de la Organización Internacional del Trabajo, Norma de Desempeño 2 del Grupo Banco Mundial) y una política o plan de recursos humanos; • prohibición del trabajo infantil, incluida la prohibición del trabajo de personas menores de 18 años en condiciones peligrosas (incluidas las actividades de construcción) y en horario nocturno; exámenes médicos necesarios para determinar la aptitud para trabajar de las personas menores de 18 años; • eliminación de la discriminación con respecto al empleo y la ocupación, que se definirá como cualquier distinción, exclusión o preferencia por motivos de raza, color, sexo, religión, opinión política, afiliación a un sindicato, nacionalidad u origen social; • política o planes de recursos humanos donde se establezcan a) los derechos y las responsabilidades de los empleados de la empresa del proyecto y de los empleados de cualquier contratista que trabaje en el proyecto en relación con la remuneración, las condiciones de trabajo, los beneficios, los procedimientos disciplinarios y de rescisión de la relación laboral, salud y seguridad en el trabajo, procedimientos para el ascenso, y capacitación, y b) los derechos, las responsabilidades y los requisitos de los acuerdos con el contratista o los subcontratistas en relación con los derechos de los trabajadores.
Gestión de salud y seguridad	• actualización del PGAS a cargo del contratista de construcción antes del inicio de las obras, basada en un plan detallado de las obras de construcción y los riesgos de salud y seguridad en el trabajo conexos y establecida en el sistema de gestión de salud y seguridad del contratista; • incorporación en el diseño del plan de consideraciones de seguridad comunitaria (como carteles de advertencia, ubicación de equipos y materiales peligrosos, y protección mediante vallados alrededor de los emplazamientos)

Nota: MASS = medio ambiente, salud y seguridad; EIAS = evaluación del impacto ambiental y social; PGAS = plan de gestión ambiental y social; GPS = sistema de posicionamiento global; UNESCO = Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

La comunicación clara e informada y la coordinación de las partes interesadas son fundamentales para la gestión de MASS. Es esencial establecer mecanismos de coordinación sólidos entre las diferentes entidades del Gobierno y las empresas o consorcios del sector privado participantes. A tal efecto, es importante evaluar las opciones para la asignación de las responsabilidades en función de las capacidades y los riesgos (de manera similar a la asignación de riesgos entre las partes de los contratos). Las políticas de sostenibilidad y seguridad ambiental bien definidas pueden contribuir a garantizar el compromiso de las principales autoridades con el uso del SGMASS, incluida la comunicación con el personal y los subcontratistas, y su capacitación.

Todas las entidades involucradas tienen responsabilidades a la hora de abordar los problemas y de garantizar una gestión de MASS sólida y sus respectivos resultados, al margen de que sean o no formal o legalmente responsables. Es por ello que las actividades de fortalecimiento de la capacidad e intercambio de conocimientos entre los distintos especialistas y entidades participantes son necesarias y pueden reforzarse aprovechando los conocimientos y la experiencia de proyectos existentes e incorporando buenas prácticas y enseñanzas aprendidas.

Nota

El autor desea agradecer a Ramiro Alberto Ríos, Yang Yi y Ziming Liu del Banco Mundial por sus aportaciones de contenidos e investigaciones, y también a los revisores Carlos Pérez-Brito, Joanna Moody, Marcio Cerqueira Batitucci, Gerald Ollivier y Arturo Ardila-Gómez del Banco Mundial; Ernesto Monter del Banco Interamericano de Desarrollo; Juan Antonio Márquez Picón del Metro de Madrid, e Yves Amsler y Dionisio Gónzalez de la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) por compartir sus conocimientos especializados y sus detalladas críticas durante la elaboración de este capítulo.

Bibliografía

British Standards Institute (2007), "Occupational Health and Safety Management (OHS)", British Standards Institute, Londres. https://www.bsigroup.com/en-GB/ohsas-18001-occupational-health-and-safety/.

Dulles Metrorail Corridor Project (2015), "DC to Dulles and Beyond: Metrorail on Track", *Dulles Metrorail Corridor Project Newsletter* (verano), http://www.dullesmetro.com/news-and-updates/newsletters/summer-2015/.

Environmental Resources Management (2014), Análisis Complementario al Estudio de Impacto Ambiental Semi-Detallado del Proyecto "Construcción de la Línea 2 y Ramal Av". Faucett-Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao, http://projects.worldbank.org/P145610/?lang=en&tab=documents&subTab=projectDocuments.

Asociación de los Principios del Ecuador (2013), "Equator Principles". https://equator-principles.com/about/

Hirsch, Art, Robert H. Montgomery y Howard Schirmer Jr. (2015), *Improving Environmental Sustainability in Road Projects*, documento para discusión n.o 2 de Prácticas Mundiales de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Washington, DC: Grupo Banco Mundial. https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/220111468272038921/improving-environmental-sustainability-in-road-projects

Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (2015), "Environmental Management Systems: Requirements with Guidance for Use", ISO 14001:2015 (inglés), ISO, Ginebra, Suiza, https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:en.

Montgomery, Robert (2014), "Value and Use to Financial Institutions of EA Environmental and Social Impact and Management Monetization", presentación en la "Conferencia Anual de la IAIA", International Association of Impact Assessment, Viña del Mar (Chile), 2 de abril.

—— (2015), "Gestión de riesgos financieros por aspectos ambientales y sociales en el financiamiento de proyectos de infraestructura", presentación en la "Conferencia sobre Megainfraestructura Sostenible y Evaluación de Impactos", International Association of Impact Assessment, Ciudad de Panamá, 1 al 3 de diciembre.

Oficina de Gestión de Proyectos Ferroviarios de Nanchang (NCRT) (2013), "Line 2 Corridor from Hongjiaozhou Depot to Xinjiaan Station: Resettlement Action Plan", Oficina de Gestión de Proyectos de NCRT, http://documents.worldbank.org/curated/en/554981468215686551/pdf/RP13910v10REVI030Nanchang0RAP0Final.pdf.

Despacho de Consultoría de la Facultad de Arquitectura Sir J. J. (2012), "Executive Summary on Trespassing over Railway Track in Mumbai Suburban Area and Remedial Measures Thereon", Mumbai Railway Vikas Corporation (MRVC), Mumbai, India.

SuperVia (2008), *Plan de Gestión Ambiental: Segundo Proyecto de Transporte Masivo de Río de Janeiro*, P111996, http://projects.worldbank.org/P111996/rio-de-janeiro-mass-transit-project-ii?lang=en&tab=documents&subTab=projectDocuments.

Banco Mundial (2013a), *Proyecto Ferroviario Urbano de Nanchang en Jiangxi (China): Evaluación ambiental*, Washington, DC: Banco Mundial. https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/document-detail/P132154

—— (2013b), "OP 4.01: Evaluación ambiental", Manual de Política Operacional, Banco Mundial, Washington, DC, abril. https://policies.worldbank.org/en/policies/all/ppfdetail/1565

—— (2016), *Environmental and Social Framework: Setting Standards for Sustainable Development*, Washington, DC: Banco Mundial. http://pubdocs.worldbank.org/en/837721522762050108/Environmental-and-Social-Framework.pdf

—— (2017), "Mumbai Urban Transport Project: Implementation Completion and Results Report", Prácticas Mundiales de Transporte y Tecnología de la Información y las Comunicaciones (TIC), región de Asia meridional, Banco Mundial, Washington, DC, http://documents.worldbank.org/curated/en/398881499374651383/pdf/ICR00004109-06272017.pdf.

Grupo Banco Mundial (2007a), *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Railways*, Corporación Financiera Internacional, Washington, DC. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/8a4a0318-9c7a-44f1-80bf-ff30cb3c9087/Final%2B-%2BRailways.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jqevJUe&id=1323152551661

—— (2007b), *General EHS Guidelines: Introduction*, Corporación Financiera Internacional, Washington, DC. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_policy_ehs-general

—— (2012), "Norma de Desempeño 2: Trabajo y condiciones laborales", Corporación Financiera Internacional, Washington, DC, 1 de enero. https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/policies-standards/performance-standards/ps2.

Lecturas adicionales

Asociación de Ferrocarriles Americanos (AAR) (s. f.), "Safety", https://www.aar.org/topic/safety/

Asociación Estadounidense de Transporte Público (APTA) (2016), "Safety Management System Manual: Public Passenger Transportation Systems", APTA, Washington, DC. https://www.trbtss.org/wp-content/uploads/2016/03/APTA-Safety-Management-System-Manual.pdf

Brecher, Aviva, Joseph Sposato y Bernard Kennedy (2014), *Best Practices and Strategies for Improving Rail Energy Efficiency*, Washington, DC: Departamento de Transporte de los Estados Unidos, https://www.fra.dot.gov/eLib/details/L04922.

Crossrail (2004), *Environmental Statement (and Various Supplements and Amendments)*, Crossrail, Londres, http://www.crossrail.co.uk/about-us/crossrail-bill-supporting-documents/.

—— (2008), *Environmental Minimum Requirements (including Crossrail Construction Code)*, Crossrail, Londres. https://www.crossrail.co.uk/about-us/crossrail-act-2008/environmental-minimum-requirements-including-crossrail-construction-code

—— (s. f.), "Sustainability Program", Crossrail, Londres, http://www.crossrail.co.uk/sustainability/.

Gesambconsult (2012), *Environmental Impact Study of the Metro de Quito First Line: Executive Summary*, Gesambconsult, Quito, http://projects.worldbank.org/P144489/ecuador-quito-metro-line-one?lang=en&tab=documents&subTab=projectDocuments.

Autoridad del Metro de Melbourne (2015), "Environment Effects Statement", Autoridad del Metro de Melbourne, Melbourne (Australia), 23 de febrero. https://metrotunnel.vic.gov.au/planning/statutory-assessment/documents

Autoridad Metropolitana del Transporte (2004), *Second Avenue Subway Final Environmental Impact Statement (FEIS)*, MTA, Nueva York (Nueva York), http://web.mta.info/capital/sas_docs/feis.htm.

—— (s. f.), "Sustainability Program", MTA, Nueva York (Nueva York), http://web.mta.info/sustainability/.

Condado de Miami-Dade (2010), *Environmental Management System Manual: Miami-Dade Transit Metromover Maintenance Facility*, Miami: Cherokee Enterprises, febrero.

Metro de Sydney, *Sydney Metro Northwest Project Environmental Documents (Including Environmental Impact Assessments, Management Plans)*, Metro de Sydney, Sydney (Australia), https://www.sydneymetro.info/northwest/environment-planning.

Junta de Normas y Seguridad Ferroviaria del Reino Unido (2009), "Rail Industry Sustainable Development Principles", RSSB, Londres.

16 MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD Y LA FORMA URBANA

Felipe Targa y Jean Paul Vélez

El desarrollo de una nueva línea ferroviaria urbana representa una de las mayores inversiones que una ciudad, una región e incluso, a veces, un país realizarán en algún momento dado (véase el recuadro 16.1). En los países donde los recursos públicos son limitados, estos niveles elevados de gasto implican tomar decisiones difíciles y comparar las ventajas y desventajas de numerosas inversiones posibles. Por ejemplo, para la construcción de una nueva línea ferroviaria urbana, pueden utilizarse recursos que, de lo contrario, podrían destinarse a mejorar el déficit de vivienda y la infraestructura básica en comunidades marginadas, o para construir nuevas escuelas o guarderías, hospitales y optimizar los programas de salud pública. Considerando estas ventajas y desventajas, las inversiones en ferrocarriles urbanos son mucho más que la simple provisión de infraestructura o servicios de transporte para una comunidad. Forman parte de un contexto más amplio de actividades urbanas y, por ende, deben planificarse cuidadosamente y armonizarse con una visión integrada, multisectorial y a largo plazo para el desarrollo de la ciudad y su forma urbana (véase el capítulo 3).

Fotografía: Construcción de un nuevo desarrollo orientado al transporte público para transformar los alrededores de la Estación Wiehle-Reston, línea plateada, Washington, DC. *Fuente:* © Dulles Metrorail Corridor Project. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

RECUADRO 16.1.

Escala de la inversión en ferrocarriles urbanos y su capacidad para determinar la forma urbana: línea 2 del metro de Lima, Perú

La línea 2 del metro, actualmente en construcción, es el proyecto de infraestructura más importante no solo de Lima, sino de todo Perú. Con un costo total de USD 5300 millones, la línea 2 por sí sola utilizó el 6 % de los gastos de capital totales del Gobierno nacional durante su etapa de construcción, lo que asciende a aproximadamente el 1,9 % del producto interno bruto del país.

Una vez terminada, la línea 2 tiene como objetivos llegar a un número diario de 660 000 pasajeros y mejorar los tiempos de aproximadamente el 5 % de los viajes que se realizan a diario en la zona metropolitana de Lima, donde viven 9 millones de ciudadanos. Los críticos pueden utilizar estas cifras para minimizar la importancia del proyecto de la línea 2 sosteniendo que tiene un impacto marginal en la movilidad general de la ciudad dado su alto costo, especialmente en el contexto de una ciudad de un país en desarrollo. Sin embargo, la visión del Gobierno es que la línea 2 también proporcionará a la ciudad un eje de 35 kilómetros para concentrar y catalizar el desarrollo urbano y económico estratégico en su área metropolitana en rápido crecimiento. En este sentido, los beneficiarios del proyecto no son solo los 660 000 pasajeros diarios previstos de la línea 2, sino también los 2,3 millones de personas que viven y trabajan a lo largo de esos 35 kilómetros. La estrategia de desarrollo urbano de Lima tiene potencial para movilizar USD 5300 millones en inversión en infraestructura para sumar valor a la ciudad, lo que implica crear patrones de desarrollo urbano más eficaces y sostenibles, promover el desarrollo de nuevos distritos comerciales y centros de empleo que estimulen la innovación, y mejorar la calidad de los espacios públicos y crear vecindarios más atractivos y pujantes para los residentes y los turistas.

Los gastos excesivos siempre deben evitarse; sin embargo, a largo plazo, la falta de una inversión óptima en un sistema de transporte con una estrategia de desarrollo urbano desde el inicio puede resultar más costosa para las ciudades en desarrollo en términos de externalidades negativas y costos de oportunidad. Si bien los proyectos ferroviarios urbanos generalmente se consideran solo como la provisión de obras civiles y sistemas para la operación de transporte, las políticas e inversiones complementarias (por ejemplo, las instalaciones de integración multimodal o las mejoras en los espacios públicos en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril urbano) son esenciales para que se materialicen todos los beneficios de un proyecto de esta índole. Por lo tanto, la ejecución de un proyecto ferroviario urbano no solo es cuestión de optimizar la tecnología, la infraestructura y los servicios, sino que también implica crear una visión y una estrategia de implementación para aprovechar al máximo los beneficios en materia de accesibilidad generados por el proyecto.

La infraestructura de transporte público de alta capacidad, especialmente los ferrocarriles urbanos, ayuda a determinar la forma de la ciudad y la distribución de las densidades de vivienda y empleo. Los planificadores y gerentes de proyecto locales deben comprender y orientar la transformación a largo plazo de las dinámicas económicas, de transporte y de uso del suelo a lo largo del corredor del ferrocarril urbano. Esto implica realizar un análisis profundo de las alternativas de los beneficios económicos del proyecto con respecto al trazado del corredor, los métodos de construcción y la selección de tecnologías, entre otros aspectos (véanse los capítulos 4 y 5). También supone adoptar un enfoque proactivo para buscar oportunidades de desarrollo o renovación urbana que vayan más allá del corredor y las estaciones del proyecto, oportunidades que permitan generar nuevos ingresos para el operador, así como promover un patrón de desarrollo urbano más dinámico, inclusivo y sostenible desde el punto de vista económico para la región metropolitana y las comunidades locales. Es necesario abordar diversos obstáculos, que incluyen desde la coordinación institucional hasta los marcos jurídicos y normativos, para liberar el potencial del sistema ferroviario urbano que determine la forma urbana y generar mayor valor urbano e ingresos adicionales para la ciudad o el proyecto. Lo más importante es la decisión de ser audaces para no descartar la oportunidad de dar forma al futuro desarrollo urbano de la ciudad pensando en los sistemas ferroviarios urbanos solo como infraestructura y servicio de transporte.

En este capítulo se ofrece una guía práctica para los especialistas locales que planifican o ejecutan un nuevo proyecto ferroviario urbano o la renovación de una línea o estación existente. Esta guía explica cómo crear una visión general del proyecto que permita dar forma a un modelo de desarrollo urbano sostenible, próspero e inclusivo. Un nuevo proyecto ferroviario urbano basado en una visión integrada de desarrollo económico, uso del suelo y transporte tiene el potencial de generar un mayor valor urbano. Este valor, a su vez, puede capitalizarse y utilizarse para financiar necesidades de infraestructura pública, incluida aquella relacionada con el transporte ferroviario, y para promover una forma urbana más sostenible e inclusiva.

A tal fin, en este capítulo se introduce el concepto general de accesibilidad y se presenta una explicación básica de cómo los beneficios en términos de accesibilidad no derivan solamente de las mejoras en la movilidad mediante el transporte, sino también de una combinación de políticas de uso del suelo y diseño de los ámbitos públicos en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril urbano. Este marco conceptual se presenta mediante ejemplos simples y comunes de las características de las áreas de las estaciones, sobre la base de las metodologías y los marcos existentes relativos al concepto de desarrollo

orientado al transporte público (DOT). Estos ejemplos ofrecen estrategias prácticas que los especialistas locales pueden aplicar para incrementar el valor urbano y económico que puede generarse a partir de las inversiones en ferrocarriles urbanos.

En el capítulo se presenta a los especialistas evidencia de la relación entre los atributos que aumentan el valor urbano y el potencial de financiar, a través de la recuperación del valor del suelo, mejoras en la infraestructura local que generen mayor valor urbano. Además, se presentan los obstáculos más frecuentes en la implementación del DOT y las estrategias para destrabar su financiamiento. En la última sección, se incluyen recomendaciones para crear una coalición de respaldo para la implementación del DOT, con énfasis en las medidas sociales y económicas que sostienen y refuerzan los mecanismos de generación de valor mediante la utilización de estrategias más amplias de desarrollo comunitario.

Conceptualización de los sistemas ferroviarios urbanos más allá de la mejora de la movilidad

Por lo general, el objetivo principal de un proyecto ferroviario urbano nuevo es mejorar la movilidad urbana entre las diferentes zonas de una ciudad optimizando los servicios de transporte público. En los países de ingreso bajo y medio, los cuales se enfrentan a niveles de congestión y motorización crecientes y, generalmente, cuentan con servicios de transporte público de baja calidad, se implementan sistemas ferroviarios urbanos para proporcionar transporte eficaz, fiable, seguro y de alta calidad y capacidad. En muchas ciudades en desarrollo, la mayoría de la población viaja en transporte público (incluidos los ferrocarriles urbanos). En particular, los residentes urbanos de menores ingresos dependen de manera desproporcionada de los servicios de transporte público (véase el capítulo 2). En la medida de lo posible, con una nueva línea ferroviaria urbana, también se espera atraer cierto porcentaje de usuarios de automóviles (ciudadanos de ingreso medio y alto) aprovechando el aumento de la seguridad, las mayores velocidades de viaje y la mejor calidad del servicio de los ferrocarriles urbanos, y difundiendo el posible ahorro en combustible y estacionamiento.

Los proyectos ferroviarios urbanos más innovadores y eficaces no solo se conciben como factores de mejora de la movilidad y del rendimiento del transporte, sino también como mecanismos de transformación de los patrones del desarrollo urbano y, por ende, de mejora de la accesibilidad, la sostenibilidad, la inclusión social, la pujanza económica y la habitabilidad de la ciudad. Por lo

tanto, los proyectos ferroviarios urbanos incluyen tanto la inversión en infraestructura como las políticas complementarias que integran el desarrollo económico, del transporte y del uso del suelo. Históricamente, los proyectos ferroviarios reconocidos como "mejores prácticas" en la planificación integrada del transporte y del uso del suelo (por ejemplo, Copenhague; Región Administrativa Especial de Hong Kong, China; Singapur; Estocolmo, y Washington, DC) han tenido impactos notables en la determinación de la forma del desarrollo urbano (Suzuki, Cervero e Iuchi, 2013, 49-94). Estos ejemplos destacan la importancia del desarrollo de la urbanización y el uso del suelo de forma mixta, densa y compacta, con un diseño atractivo de las áreas públicas que fomente el desplazamiento en bicicleta y a pie y facilite la creación de comunidades activas (Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo [ITDP], 2017). Al mejorar los servicios de transporte, estos proyectos permiten que los habitantes se trasladen de forma más eficiente en la ciudad (mejora de la movilidad); al acercar los orígenes y los destinos de los habitantes a través de nuevos patrones de uso del suelo y desarrollo urbano, también fomentan el transporte no motorizado y generan un mayor número de viajes (mejora de la accesibilidad). La accesibilidad, más que la movilidad, debe ser el objetivo de todo proyecto ferroviario urbano.

La accesibilidad en el ámbito de los ferrocarriles urbanos debe considerarse en tres niveles (regional, local y universal), los que deben equilibrarse para lograr resultados óptimos para los usuarios y la ciudad en su conjunto. En las subsecciones siguientes, se analizan en detalle cada uno de estos tres niveles de accesibilidad.

Accesibilidad regional

A nivel regional, el concepto de accesibilidad se refiere a la facilidad con la que los habitantes pueden acceder a las oportunidades deseadas (por ejemplo, puestos de trabajo, escuelas, centros de atención médica, centros comerciales e instalaciones recreativas) en un tiempo de viaje determinado. El concepto de accesibilidad regional generalmente se centra en lograr combinaciones óptimas de la red de transporte y el uso del suelo, de tal forma que se conforme un sistema de transporte eficaz para el traslado diario de personas entre el hogar y el lugar de trabajo. Una zona metropolitana próspera se compone de muchos elementos, y también es posible considerar la facilidad de acceso a establecimientos de salud, educación o recreación a nivel metropolitano, además del acceso a los puestos de trabajo. No obstante, dado que el éxito económico de una ciudad se basa en la solidez y la fuerza de sus mercados laborales, el acceso a los puestos de trabajo se considera la medida más fundamental y habitual de la accesibilidad regional. Algunas investigaciones

recientes indican que la solidez y el poder económico de una ciudad no están relacionadas con el tamaño del mercado laboral, sino con el número de puestos de trabajo por trabajador a los que se puede acceder en un viaje de una hora (Bertaud, 2014, 11). Dado que los mercados laborales pujantes son esenciales para el desarrollo, la accesibilidad a nivel regional (a los puestos de trabajo) ocupa un lugar preponderante en el marco de "las cuatro A" —amplia disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad— en el que se considera la distribución de los beneficios de un proyecto ferroviario urbano (véase el capítulo 2).

Los sistemas ferroviarios urbanos se planifican y se construyen a lo largo de los corredores con mayor demanda, actual y futura, de viajes dentro de la región metropolitana. Además, los sistemas ferroviarios urbanos pueden respaldar mayores concentraciones de empleos y personas a lo largo del corredor y en las inmediaciones de las estaciones, lo que fomenta considerablemente el aumento de las actividades y la demanda de servicios de transporte. El desarrollo de infraestructura ferroviaria urbana con políticas complementarias de uso del suelo puede mejorar la sostenibilidad financiera de las operaciones de los ferrocarriles urbanos y aumentar la productividad económica, así como lograr que las ciudades sean más competitivas como resultado de los efectos de la aglomeración.

El desafío consiste en desarrollar zonas residenciales y centros de empleo próximos entre sí, y conectarlos con los medios de transporte más eficaces. Uno de los mejores ejemplos de coordinación entre los planes maestros de uso del suelo y de movilidad para una zona metropolitana es el Plan del "Conjunto de Planetas" de Estocolmo, Suecia, donde los puestos de trabajo y las viviendas coexisten a lo largo de los corredores de transporte ferroviario (véase el recuadro 16.2). Sin embargo, generalmente es necesario que pase una generación para que se materialicen los cambios en los patrones de uso del suelo y desarrollo urbano a escala metropolitana o municipal. De modo similar al caso de Estocolmo, los modelos coordinados de transporte y uso del suelo a nivel metropolitano y municipal de Copenhague, de la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China, y de la ciudad de Washington, hicieron falta varias décadas para su desarrollo y consolidación. A corto plazo, una nueva línea ferroviaria urbana mejorará la accesibilidad regional a los puestos de trabajo aprovechando las vías segregadas, la mayor velocidad de viaje, capacidad y calidad en el servicio, para reducir los tiempos de viaje entre los orígenes y los destinos actuales.

Accesibilidad local

A escala vecinal, el concepto de accesibilidad local se refiere a la facilidad de acceso y egreso respecto de los destinos locales, incluidas las estaciones de

RECUADRO 16.2.

Equilibrio de la demanda a través de la urbanización de uso mixto específica: el Plan del "Conjunto de Planetas" de Estocolmo

Mediante el Plan del "Conjunto de Planetas" de Estocolmo, Suecia, similar al Proyecto de los Dedos de Copenhague, Dinamarca, se redujeron los traslados entre el hogar y el lugar de trabajo al combinar empleos y viviendas a lo largo de los corredores de transporte ferroviario. Como parte de una estrategia integrada de uso del suelo y transporte para la región metropolitana, los corredores para encauzar el crecimiento desde los centros urbanos se definieron en las primeras etapas del proceso de planificación, y la infraestructura ferroviaria se construyó, generalmente con anticipación a la demanda, para dirigir el crecimiento a lo largo de los ejes de crecimiento previstos (véase el gráfico B16.2.1). También cabe destacar que las zonas del cinturón verde se preservaron como reservas agrícolas, espacios abiertos y hábitats naturales, y la infraestructura de gran magnitud se implementó en lugares alejados de estos distritos.

La combinación de usos de terreno a lo largo de corredores lineales ayuda a equilibrar los flujos bidireccionales de pasajeros, lo que se traduce en un uso más eficaz de la infraestructura de ferrocarriles urbanos y una mayor fiabilidad de las operaciones. Durante las horas pico, el 55 % de los pasajeros generalmente viajan en una dirección en los trenes, mientras que el 45 % restante lo hacen en la otra dirección (Cervero, 2006). El reparto modal de transporte de Estocolmo es alto, incluso en comparación con sistemas ferroviarios más grandes de otras ciudades europeas (véase la imagen B16.2.1).

IMAGEN B16.2.1. Numerosos pasajeros esperan para viajar en ambas direcciones en la Estación Central de Estocolmo, Suecia

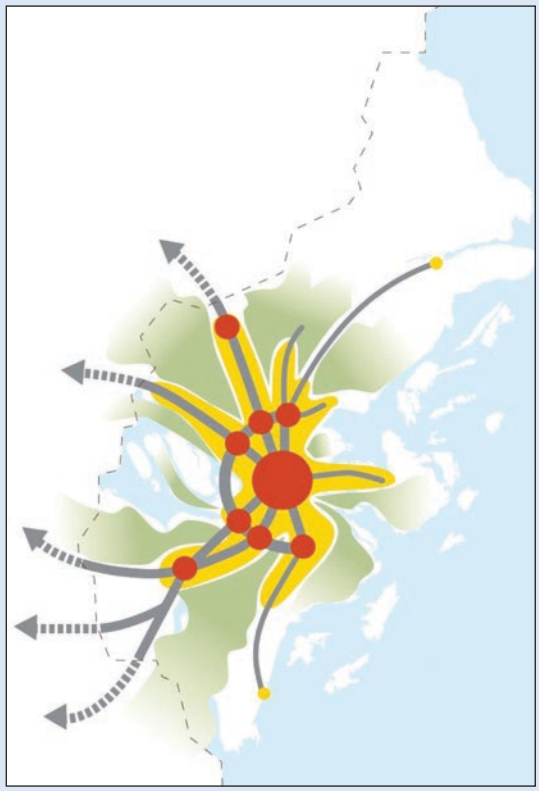
Fuente: Gustav Gullberg, a través de Wikimedia Commons.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 16.2.

Equilibrio de la demanda a través de la urbanización de uso mixto específica: el Plan del "Conjunto de Planetas" de Estocolmo *(Continuación)*

GRÁFICO B16.2.1. Planes integrados de uso del suelo y movilidad para la Región de Estocolmo



Fuente: Brattström y Lindquist, 2015.

los usuarios de los sistemas ferroviarios urbanos. Abordar la cuestión relativa al acceso y el egreso del sistema ferroviario urbano es fundamental para aprovechar los posibles beneficios en términos de accesibilidad con respecto a otras modalidades de transporte. El cambio relativo en la mejora de la accesibilidad es lo que determina el potencial de recuperación de valor en el marco

ferrocarril urbano y otros servicios de las comunidades. El grado de accesibilidad local está determinado por la distribución y la intensidad de los usos del suelo y la forma en que el diseño de los espacios públicos y del entorno edificado se encuentra influenciado por la infraestructura de transporte público de alta capacidad. También se refiere al concepto de "última milla" en relación con las áreas de la estación y la forma en que las estaciones y sus entornos favorecen las conexiones de transporte intermodal, ofreciendo, especialmente, un entorno apto para peatones y ciclistas. Las mejoras en infraestructura y tecnología que promuevan una integración sistemática desde el punto de vista del usuario —por ejemplo, servicios de conexión intermodal entre autobuses y ferrocarriles que ofrezcan una integración física y tarifaria y políticas operacionales entre las diferentes modalidades, y carriles para bicicletas y estacionamientos— reducirán el tiempo, el costo y la carga en los trayectos de última y primera milla (véase la imagen 16.1). Los viajes de última y primera milla aumentan considerablemente el tiempo y el costo de traslado para

IMAGEN 16.1. Acceso para ciclistas y peatones en la Estación Central Kamppi: Helsinki, Finlandia

Fuente: © Felipe Targa. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

del proyecto. Por lo tanto, las características de accesibilidad local —especialmente la integración física (y operacional) con los sistemas de autobuses alimentadores y otros modos de transporte no motorizados— también son esenciales para obtener todos los beneficios de la accesibilidad regional.

Los especialistas locales a menudo subestiman la importancia de invertir en la mejora de la accesibilidad local junto con la infraestructura ferroviaria urbana. En general, se considera que ofrecer un servicio de transporte público, fiable y de gran capacidad es suficiente para mejorar la movilidad (y la accesibilidad). El análisis del acceso a los lugares de trabajo realizado para la red del metro de Zhengzhou, de China, que se realizó en base a diferentes escenarios de uso del suelo y de mejora de la integración intermodal del transporte en autobús y bicicleta, demuestra la importancia de estas estrategias locales para obtener beneficios regionales en materia de accesibilidad (véase el recuadro 16.3).

La capitalización de los beneficios en materia de accesibilidad (regional y local) suscita interés en el desarrollo o la transformación de las comunidades próximas a las líneas ferroviarias. Este interés por el (renovado) desarrollo, a su vez, puede mejorar el acceso a las instalaciones, los servicios y los empleos locales que contribuyen al desarrollo económico local y a la consolidación de nuevas zonas urbanas centralizadas. Esta distribución varía según el potencial del mercado inmobiliario de cada lugar o vecindario y su ubicación dentro de la región, ya que cada vecindario cumple diferentes funciones estratégicas. Independientemente del tipo de comunidad, uno de los principales componentes de una mejor accesibilidad local es la aglomeración y la combinación de los usos del suelo (especialmente, la proximidad entre las residencias y las oportunidades de empleo) para evitar, en la medida de lo posible, los viajes de larga distancia y permitir el acceso a pie y en bicicleta. Los vecindarios más eficaces e inclusivos también cuentan con mercados, farmacias, restaurantes, guarderías y escuelas, parques y otras instalaciones clave que abordan la mayoría de las necesidades básicas de la vida cotidiana y, por ende, reducen la necesidad de trasladarse a otros vecindarios (véase la imagen 16.2).

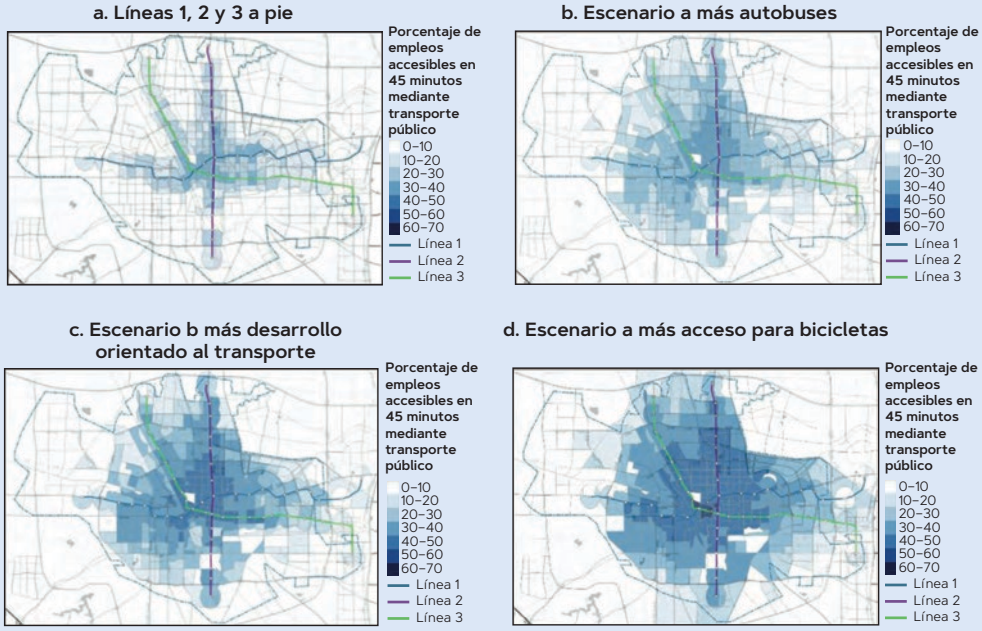
Por lo tanto, las mejoras en la accesibilidad local cumplen dos objetivos. En primer lugar, contribuyen al aumento de la accesibilidad debido a la mejora en los sistemas ferroviarios urbanos, reduciendo el tiempo, el costo y la carga de los viajes de última y primera milla. Asimismo, suscitan el interés de los mercados inmobiliarios en el desarrollo o la trasformación de un vecindario con un desarrollo urbano compacto, de uso mixto y apto para peatones y ciclistas, con oportunidades de empleo y servicios para la comunidad que permitan a los habitantes residir, trabajar, comprar y realizar actividades recreativas en sus propias comunidades, sin necesidad de desplazarse largas distancias para

RECUADRO 16.3.

Análisis de la accesibilidad a empleos con las mejoras de la accesibilidad local: metro de Zhengzhou, China

Los análisis de accesibilidad realizados para el metro de Zhengzhou de China demostraron que las mejoras de la accesibilidad local son importantes para contribuir a los beneficios en materia de accesibilidad regional derivados de la expansión de los ferrocarriles urbanos. Desde el escenario de referencia (tres líneas de metro), la proporción media (ponderada en función de la población) del mercado laboral a la que se accede mediante el transporte público en un plazo de viaje de 45 minutos es del 28 % (véase el mapa B 16.3.1). La incorporación de tres líneas de metro adicionales aumentará el acceso al lugar de trabajo en solo 4 puntos porcentuales (del 28 % al 32 %). La implementación de estrategias de DOT (duplicar la densidad de población y empleo en los alrededores de las estaciones) aumentará la accesibilidad a empleos en 11 puntos porcentuales adicionales (del 32 % al 43 %); la provisión de instalaciones de integración de infraestructura para bicicletas junto con el DOT en las inmediaciones de las estaciones aumentará la accesibilidad a empleos en 8 puntos porcentuales adicionales (del 43 % al 51 %).

MAPA B16.3.1. Accesibilidad a empleos en diferentes escenarios de integración multimodal en Zhengzhou, China



Fuente: Li y otros, 2016.

IMAGEN 16.2. Espacios residenciales, comerciales y laborales combinados dentro de la misma manzana o en manzanas adyacentes y conectados con infraestructura para peatones de alta calidad: Distrito de Tianhe, Guangzhou, China

Fuente: Luc Nadal. Reproducido con autorización en virtud de la licencia CC de ITDP.

satisfacer sus necesidades diarias. Es fundamental que los responsables de la toma de decisiones comprendan que el aumento de la accesibilidad es el resultado de la combinación de las mejoras de la movilidad con políticas de uso del suelo y desarrollo económico local y con el diseño metódico y de alta calidad de los espacios públicos en el área de influencia de la estación.

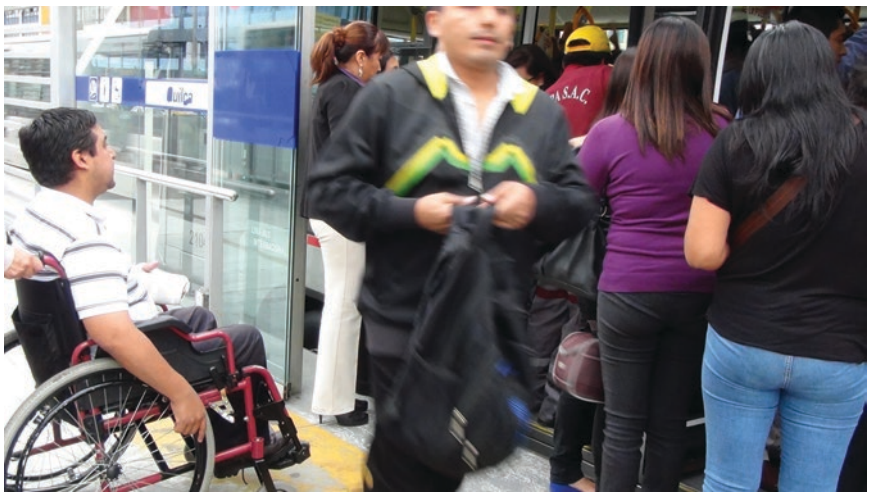
Accesibilidad universal

La accesibilidad universal se centra en las formas en que el entorno edificado y la infraestructura y los servicios de transporte satisfacen las necesidades de movilidad de la mayor parte de los posibles usuarios, entre ellos, los niños, las personas mayores, los usuarios con discapacidades visuales y de movilidad, y las personas con otras necesidades especiales (Victoria Transport Policy Institute, 2014). El objetivo de la accesibilidad universal es construir ciudades más equitativas y aptas para todos los ciudadanos. Teniendo en cuenta que las

personas con discapacidad y otros ciudadanos vulnerables son más propensos a evitar los viajes debido, en parte, a los obstáculos relacionados con el transporte, la planificación para fomentar la accesibilidad universal también constituye una estrategia de inclusión social y económica para mejorar la productividad regional mediante la inclusión de sectores de la población que a menudo quedan relegados. La planificación para conseguir la accesibilidad regional y local, como se indicó anteriormente, es un requisito fundamental para lograr la accesibilidad universal. Sin embargo, se deben realizar esfuerzos adicionales para mejorar la accesibilidad universal (por ejemplo, divulgar información sobre los servicios de transporte en formatos audiovisuales y táctiles; diseñar vehículos e infraestructura que permitan el traslado sin inconvenientes desde los hogares hasta las aceras y los vehículos de transporte; creando servicios especiales en zonas de baja demanda) e incorporar las necesidades de la población vulnerable y con discapacidad en la planificación, el diseño, la construcción y la operación de todos los proyectos (véase la imagen 16.3).

La accesibilidad universal generalmente se considera dentro del marco de mejora de los servicios de conexión intermodal para el aumento de la accesibilidad local, mediante la integración física de las distintas modalidades y el acceso a las estaciones, con inclusión de rampas, ascensores y señalización adecuada. Las intervenciones de los nuevos proyectos ferroviarios urbanos

IMAGEN 16.3. Estaciones de BRT accesibles y aptas para la circulación en silla de ruedas: Lima, Perú



Fuente: © Acceplan Accesibilidad S. L. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.
Nota: BRT = autobús de tránsito rápido.

normalmente se limitan a la infraestructura de la estación y su entorno. Sin embargo, los especialistas deben planificar y diseñar la infraestructura, la señalización y otros elementos en un área complementaria que puede llegar a abarcar más de 400 metros u 800 metros desde la estación. La accesibilidad universal no debe considerarse solo para los horarios de servicio regular, sino también para casos de emergencia o evacuaciones.

Todo nuevo proyecto ferroviario urbano puede mejorar la accesibilidad en las tres dimensiones (regional, local y universal); sin embargo, esta mejora está sujeta a ciertos límites. En promedio, los habitantes solo caminan aproximadamente 400 metros hasta una parada de autobús regular y alrededor de 800 metros hasta un servicio de transporte público de alta capacidad, como una estación de ferrocarril. Por ende, los sitios ubicados dentro de un radio de 800 metros a lo largo de la nueva línea ferroviaria urbana son altamente propensos a percibir mejoras tangibles en materia de accesibilidad. Estas áreas de captación de mejoras en materia de accesibilidad pueden ampliarse si se ofrecen instalaciones adecuadas de conexión intermodal entre autobús y ferrocarril, y bicicleta y ferrocarril, así como accesos aptos para peatones, combinados con otras políticas de integración tarifaria y operacional. Por estas razones, es importante considerar las mejoras de la accesibilidad, las políticas de integración multimodal, económica y de uso del suelo, y las características de la forma urbana y el entorno edificado a la hora de tomar decisiones relativas al trazado y ubicación de las estaciones desde las etapas iniciales de planificación y diseño del proyecto.

Capitalización de los beneficios en términos de accesibilidad

Los datos empíricos basados en el marco de equilibrio espacial indican que las mejoras en materia de accesibilidad generalmente se manifiestan como incrementos en el valor de las propiedades ubicadas dentro de la zona de influencia de la nueva línea ferroviaria urbana (Alonso, 1964; Mills, 1972; Muth, 1969). Un nuevo proyecto ferroviario urbano reduce el costo de desplazamiento de las personas que habitan en las áreas próximas a las estaciones. El aumento de la accesibilidad, a su vez, crea una ventaja en el valor de las propiedades tanto para particulares como empresas, generando un gradiente en el valor de la renta que alcanza el punto máximo en las estaciones de ferrocarril (Brueckner, 1987; Debrezion, Pels y Rietveld, 2007). En las últimas décadas, numerosas publicaciones han demostrado cómo la nueva infraestructura de transporte público de alta capacidad produce incrementos en el valor del suelo en las zonas próximas a las estaciones, aunque la magnitud de los resultados difiere según los métodos de investigación utilizados, las tecnologías de transporte implicadas y las características locales del entorno edificado en las

inmediaciones de las estaciones (Debrezion, Pels y Rietveld, 2007; Higgins y Kanaroglou, 2016; Mohammad y otros, 2013).

En conjunto, los datos empíricos indican que las nuevas líneas ferroviarias urbanas solo generarán un incremento en el valor de las propiedades en su área de influencia si el proyecto ferroviario urbano aporta una mejora de la accesibilidad en comparación con otras modalidades de transporte de la zona. Por ejemplo, si la zona está sumamente congestionada y el acceso a los lugares de trabajo es baja para cualquier modalidad de transporte, es muy probable que un proyecto ferroviario urbano que aumente considerablemente la accesibilidad capitalice dichos beneficios aumentando el valor de las propiedades próximas a las estaciones. Por el contrario, no tendrán el mismo efecto los proyectos ferroviarios urbanos que no proporcionen una ventaja competitiva en materia de accesibilidad en comparación con otras modalidades de transporte en la zona. Asimismo, los proyectos ferroviarios urbanos que mejoren la accesibilidad regional de forma similar a las otras modalidades de transporte pueden tener efectos considerablemente diferentes en los incrementos del valor de las propiedades, dependiendo de la accesibilidad local, las características del DOT de cada estación y otros factores complementarios, como el crecimiento económico dinámico y las políticas que promueven el desarrollo a nivel regional o local.

Estas características del DOT normalmente son los aspectos menos considerados durante la implementación del proyecto debido a la falta de recursos asignados a tal fin. Por ende, un mensaje clave de la extensa literatura y los datos empíricos es que la inversión en la mejora del área de influencia de la estación de un proyecto ferroviario urbano puede ser justificada con los incrementos en el valor del suelo. Estos beneficios se derivan de los servicios y las características del entorno edificado que hacen que los vecindarios orientados al tránsito sean lugares más atractivos y dinámicos desde un punto de vista económico, más limpios, menos ruidosos y, en general, más agradables para vivir.

En una reciente revisión integral y crítica de más de 130 análisis realizados sobre 60 estudios elaborados en América del Norte durante los últimos 40 años (Higgins y Kanaroglou, 2016), se determinó que una de las principales causas del incremento del valor del suelo es la falta de precisión y comprensión de los efectos de proximidad por los que se capitalizan los beneficios en materia de accesibilidad. En la mayoría de los datos, no se tienen en cuenta estos efectos de proximidad, lo que puede dar lugar a la omisión de variables y a la no consideración de relaciones vinculadas con los factores impulsores del valor urbano, como la mejora relativa de la accesibilidad y las características del DOT. Si bien la proximidad a las estaciones de ferrocarril urbano o las vías de circulación puede mejorar la accesibilidad, también puede ocasionar impactos negativos como el aumento

del ruido, la vibración, la contaminación o la delincuencia en zonas urbanas densas, o la falta de actividad económica debido a la gran cantidad de estacionamientos, autopistas y terrenos desocupados, que suelen ser más comunes en las áreas próximas a las estaciones metropolitanas o periféricas.

El impacto dado por la mejora de la accesibilidad, el incremento del valor del suelo y la transformación del desarrollo urbano es evidente comparando los sistemas o estaciones de ferrocarril urbano con diferentes políticas de uso del suelo y desarrollo económico local o normas para el diseño de las áreas públicas (véase el recuadro 16.4). Los casos exitosos son aquellos en los que se ha

RECUADRO 16.4.

Planificación para la accesibilidad y el aumento del valor urbano: Mass Transit Railway Corporation en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China

De los numerosos casos descritos en la literatura sobre el tema, la construcción de nuevas líneas de metro tuvo un impacto escaso o nulo en los valores de las propiedades en los lugares con bajas densidades de población o empleo, usos del suelo segregados y recorridos urbanos diseñados principalmente para automóviles (Gatzlaff y Smith, 1993, 54-66; Medda, 2011, 42-52) (véase la imagen B16.4.1). En estos casos, los proyectos de metro se concibieron solo como proyectos de movilidad, sin considerar los impactos del desarrollo urbano general que podrían generar beneficios adicionales al determinar la forma urbana. En ocasiones, los desarrollos adyacentes al transporte tienen posibilidades de ofrecer accesibilidad regional, pero no logran aprovechar la proximidad. Como resultado, las nuevas líneas de metro conectan menos personas y lugares de interés, tienen un menor número de pasajeros y no generan beneficios importantes en materia de accesibilidad, ni los aumentos relacionados de los valores de las propiedades.

Por el contrario, en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China, una de las ciudades más densas del mundo, donde las áreas públicas atienden las necesidades de los peatones, hasta el 90 % de todos los viajes motorizados son realizados por transporte público. Con un largo historial de planificación integrada del transporte y del uso del suelo, el desarrollo de cada línea de metro nueva ha logrado mejorar la accesibilidad y aumentar el valor de las propiedades. De hecho, la empresa de metro de la ciudad, Mass Transit Railway Corporation (MTRC), ha establecido sus propios negocios de desarrollo inmobiliario y gestión de propiedades, los que generan más de la mitad de los ingresos de MTRC cada año. La captura del valor del suelo (CVS) relacionado con el desarrollo de la infraestructura del metro también ha incluido 600 000 viviendas públicas, resultado clave para los planificadores locales interesados en contrarrestar los efectos negativos de la gentrificación relacionada con los incrementos del valor de las propiedades y el desplazamiento de los arrendatarios y los residentes locales de ingreso bajo (véase la imagen B16.4.2).

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 16.4.

Planificación para la accesibilidad y el aumento del valor urbano: Mass Transit Railway Corporation en la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China *(Continuación)*

IMAGEN B16.4.1. Estación de tránsito rápido del área de Warm Springs/South Fremont Bay, rodeada de estacionamientos: Fremont, California, Estados Unidos

Fuente: © Joanna Moody. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

IMAGEN B16.4.2. Desarrollo residencial y comercial de alta densidad: estación Kowloon de Mass Transit Railway Corporation, Región Administrativa Especial de Hong Kong, China

Fuente: Diego Delso, licencia CC BY-SA a través de Wikimedia Commons.

realizado una planificación proactiva con el fin de lograr los objetivos de accesibilidad y aumento de la actividad y el desarrollo urbano. Para ello, se requiere una planificación inicial minuciosa e integrada del transporte, de los aspectos económicos y del uso del suelo a fin de brindar los tres niveles de accesibilidad. Como primer paso, se debe definir el trazado del proyecto y la visión para transformar las áreas más estratégicas en zonas céntricas pujantes dentro de la ciudad, y luego se deben abordar los pequeños detalles para la mejora de la accesibilidad a nivel local y fomentar los proyectos con potencial para catalizar procesos más amplios de desarrollo o reconstrucción urbana. En la sección siguiente, se resumen algunos de los diferentes marcos y estrategias existentes que pueden ayudar a los especialistas a comprender las medidas necesarias para generar valor a partir de las inversiones en ferrocarriles urbanos en torno al concepto de accesibilidad local y DOT.

Desarrollo orientado al transporte público: capitalización de los atributos que generan valor

El concepto de DOT es una de las características distintivas de los sistemas de transporte integrado y la planificación del uso del suelo para la infraestructura de transporte público de alta capacidad. Los planificadores pueden utilizarlo como herramienta para identificar factores que contribuyan al aumento de la accesibilidad y generen valor en las áreas próximas a las estaciones de ferrocarril. El DOT es una estrategia de planificación y diseño para lograr un desarrollo urbano compacto, de uso mixto y apto para peatones y ciclistas, fuertemente integrado con estaciones de transporte público que generen valor a partir de todas las dimensiones de accesibilidad. Acoge las ideas de que la ubicación de los servicios, empleos, tiendas y viviendas en los alrededores de los centros de transporte fomenta el transporte sostenible no motorizado y el uso del transporte público, y de que el *place making* (diseño participativo de espacios públicos) reduce la percepción de densidad e impulsa el surgimiento de comunidades activas (Salat y Ollivier, 2017). Por ende, el DOT puede promover un estilo de vida inclusivo desde el punto de vista social, con un menor impacto por emisiones de carbono que el desarrollo tradicional.

Si se planifica e implementa de manera adecuada, los posibles beneficios del DOT suponen un aumento en el número de pasajeros, un ahorro en el tiempo y el costo de viaje, una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes locales del aire, oportunidades conjuntas de desarrollo, una revitalización de las comunidades, y un desarrollo económico. La capacidad para generar un mayor número de pasajeros quizás sea el principal

beneficio del DOT, dado que prácticamente todos los demás beneficios se derivan de su capacidad de concentrar mayores volúmenes de pasajeros en un sistema de transporte público de alta capacidad que consume menos energía. En algunos estudios empíricos, se ha determinado que las estaciones de transporte público con características de DOT de alta calidad podrían explicar el aumento del 100 % al 300 % del número de pasajeros en comparación con estaciones similares que carecen de un diseño basado en el DOT y de servicios locales (Rodríguez y Vergel-Tovar, 2017). En estudios realizados en Estados Unidos, se ha determinado que las personas que viven en las inmediaciones de estaciones construidas en base al DOT gastan el 37 % de sus ingresos en vivienda y transporte, frente al 51 % en el caso del resto de los habitantes (Haas y otros, 2010). Asimismo, los hogares pueden reducir en un 43 % las emisiones de gases de efecto invernadero al vivir en una zona céntrica próxima a los medios de transporte público, o en hasta un 78 % al vivir en zonas de transporte público más eficaces en función de su ubicación (Haas y otros, 2010; Reconnecting America, 2009). De hecho, la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China, Estocolmo y otros lugares con infraestructura de transporte público de alta capacidad y calidad complementada con un importante DOT han logrado desvincular el crecimiento económico del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero per cápita (Rode y otros, 2013).

El DOT también puede servir como agente catalizador de las iniciativas de reconstrucción de comunidades y generar un nuevo dinamismo económico en zonas urbanas anteriormente relegadas[1]. Otra capacidad del DOT, relacionada estrechamente con la revitalización de las comunidades, es la de atraer inversiones y empresas a las inmediaciones de las estaciones de transporte público, con lo cual se crean empleos nuevos y mejor remunerados. Los nuevos empleos, a su vez, pueden tener un efecto multiplicador y generar otras oportunidades de trabajo a nivel local.

Concentrar el desarrollo en un radio de 800 metros o 1 kilómetro alrededor de las estaciones de ferrocarril es una de las mejores oportunidades para influir en la modelización de las ciudades y hacerlas más sostenibles, atractivas e inclusivas. Los especialistas locales pueden tomar medidas que permitan priorizar el desarrollo en las áreas próximas a las estaciones, y deben medir y hacer seguimiento del porcentaje de empleos y habitantes dentro del radio de influencia de las estaciones, y el porcentaje de desarrollo que se genera en las zonas bien conectadas en comparación con otras partes de la ciudad, para establecer un parámetro del rendimiento básico. Pueden respaldar esta concentración al priorizar la implementación de infraestructura pública nueva en zonas bien conectadas y con acceso al transporte público y, al mismo tiempo, limitar el desarrollo en otras zonas. Asimismo, pueden impulsar mejores

oportunidades económicas al apoyar una combinación de diferentes usos y grupos de ingresos. En los alrededores de las estaciones, las ciudades pueden facilitar la creación de centros médicos, educativos y comerciales e instalaciones recreativas para que las comunidades locales puedan prosperar (Salat y Ollivier, 2017). Más adelante en esta sección, se analizan las estrategias de generación de valor más eficaces y habituales para el DOT.

El DOT también facilita la capacidad de los Gobiernos u organismos de transporte para recuperar parte de sus inversiones en la construcción de una línea ferroviaria urbana y aportar fondos o financiar una parte de los servicios de mejora de las estaciones de transporte público (véase el capítulo 10). Por lo general, esta mejora implica recuperar parte del aumento de valor del suelo debido a la capitalización de los beneficios en materia de accesibilidad y las nuevas oportunidades de desarrollo en las zonas de influencia del proyecto, de ahí su nombre: captura del valor del suelo (CVS).

Sin embargo, las ciudades no son espacios uniformes; por lo tanto, el desarrollo de una nueva línea ferroviaria urbana no añadirá valor a lo largo de su trazado de manera uniforme. Fomentar los principios del DOT no supone aplicar la misma forma urbana en todas las estaciones. Por el contrario, los planificadores locales deben comprender la variedad de contextos dentro de la ciudad y aceptar la existencia de diversas posibilidades a fin de aprovechar la inversión en una nueva línea ferroviaria urbana para incrementar el valor de las propiedades y fortalecer las comunidades locales de manera concreta acorde a cada contexto. No todas las estaciones tienen el mismo potencial de desarrollo. En general, se prevé que alrededor del 15 % de las áreas de estaciones alcancen densidades muy elevadas, según la ciudad. Es posible que otras áreas no cuenten con el valor comercial o el potencial de mercado necesarios para un desarrollo de esta índole. No existe una solución de DOT universal para toda la ciudad. Los primeros proyectos generalmente se centran en los emplazamientos sin estructura previa, donde el desarrollo es más propicio, o en lugares centralizados y centros de transporte muy accesibles, donde el desarrollo de alta densidad está respaldado por un alto valor del suelo. Existen otros tipos de oportunidades fuera de estas áreas principales, pero requieren enfoques adaptados a cada caso (Salat y Ollivier, 2017). En general, las ciudades que deciden construir un proyecto ferroviario urbano son zonas urbanas policéntricas, donde la mitad o dos tercios de los puestos de trabajo se encuentran fuera del centro urbano. Incluso las áreas próximas a estaciones ubicadas en la periferia de la red, menos interesantes desde el punto de vista económico que las estaciones metropolitanas de rápido crecimiento, ofrecen oportunidades para generar un DOT, especialmente si esas estaciones pueden conectarse con la comunidad local y el entorno comercial de la zona.

En la actualidad, los especialistas locales disponen de una variedad de instrumentos y marcos para diferenciar las oportunidades que ofrecen las diferentes estaciones de una red de ferrocarriles urbanos y comprender dónde, cuándo y cómo pueden generar valor. En las subsecciones siguientes, se describen las tipologías de estaciones basadas en el DOT y algunas de las estrategias más utilizadas para aprovechar los posibles beneficios de las intervenciones de DOT en diferentes áreas de estaciones de ferrocarril urbano.

Tipologías de desarrollo orientado al transporte

Desde hace tiempo, los investigadores y especialistas han creado tipologías de DOT basándose en observaciones de estrategias de DOT anteriormente utilizadas y sus resultados en diferentes ciudades. El modelo teórico de nodo-lugar de Bertolini (1999) y los datos empíricos realizados en numerosos sistemas de transporte público de alta capacidad dieron lugar al concepto de las "3 D": densidad, diversidad y diseño (Cervero, 2002; Cervero y Kockelman, 1997). Posteriormente, se adaptó el concepto de las "3 D" incluyendo el destino y la distancia hasta el transporte como dimensiones adicionales, y se lo denominó "5 D" (TCRP, 2004)[2]. También se han creado marcos más prácticos para identificar las tipologías de DOT con el fin de respaldar la planificación estratégica de una ciudad en función de las oportunidades de desarrollo inmobiliario (Haas y otros, 2010). En todos estos marcos se describen los posibles beneficios del DOT y las distintas estrategias prácticas para incrementar el valor urbano y económico que puede generarse a partir de la inversión en ferrocarriles urbanos. Una nueva contribución a estos trabajos es el enfoque de las "3 V" (Salat y Ollivier, 2017), que generaliza estos métodos internacionales sobre la base de un modelo de nodo-lugar o un modelo de mercado. En el enfoque de las "3 V", se identifican tres valores que pueden caracterizar a una estación de ferrocarril urbano y su relación conceptual con la accesibilidad: valor del nodo, valor posicional y valor potencial de mercado.

Valor del nodo

El valor del nodo describe la importancia de una estación de la red de transporte público en función del volumen de tránsito de pasajeros, la intermodalidad y la centralidad. Los centros multimodales altamente conectados, como la Estación de Tokio en Japón o la Estación de Atocha en Madrid (véase el recuadro 16.5), tienen un valor del nodo alto. El valor del nodo también está relacionado con las características de accesibilidad regional y local de una estación de ferrocarril urbano. Desde la perspectiva de la accesibilidad regional, el valor del nodo indica el potencial número de usuarios de la estación que llegan a cualquier destino regional debido a la conectividad de la estación con

RECUADRO 16.5.

Valor del nodo y place making en la Estación de Atocha: Madrid, España

La Estación de Atocha es la estación de ferrocarril más importante de Madrid y ofrece servicios de trenes metropolitanos y trenes interurbanos de alta velocidad. Se trata de un complejo formado por dos edificios. La estación nueva se utiliza para el tráfico ferroviario, la estación ferroviaria de alta velocidad, los trenes de larga distancia y los servicios locales; además, está conectada con los autobuses locales y es posible acceder a ella por medio de transporte no motorizado. Esta conectividad intermodal hace que la Estación de Atocha tenga un valor del nodo elevado.

Además de ser un centro multimodal, la Estación de Atocha también es la parada del Real Jardín Botánico de Madrid. El edificio de la antigua estación se convirtió en un espacio de oficinas para las operaciones del transporte ferroviario y un centro de compras y esparcimiento. A fin de conectar la estación con las atracciones de la comunidad local y crear una "identidad propia", en el edificio de la antigua estación se encuentra un jardín botánico de 4000 metros cuadrados con más de 7000 plantas de al menos 400 especies diferentes. Los pasajeros pueden detenerse y observar las tortugas en su refugio, sentarse en un banco entre la vegetación o hacer compras y comer mientras admiran la magnífica arquitectura (véase la imagen B16.5.1). La Estación de Atocha es un ejemplo excelente de la forma de incorporar los conceptos del diseño participativo de espacios públicos en el diseño de estaciones de ferrocarril.

IMAGEN B16.5.1. Tiendas, restaurantes y un pequeño jardín botánico en la plaza interior de la antigua Estación de Atocha: Madrid, España

Fuente: Wikimedia Commons.

la red. De igual modo, si ampliamos el concepto de la red para incluir la red integrada de transporte ferroviario y por autobús (con servicios, tarifas e información) y las instalaciones de infraestructura para peatones y ciclistas a nivel local, el valor del nodo también es importante para la accesibilidad local. Además de mejorar la accesibilidad local, la integración multimodal sin fisuras y las soluciones de conectividad de última milla a nivel de la estación desempeñan un papel fundamental en la creación del valor del nodo.

Cuanto más alta es la jerarquía de la red de transporte, menos oportunidades tienen los especialistas locales para influir en el valor del nodo. Esta oportunidad solo se presentará en las primeras etapas del proceso de desarrollo del proyecto, cuando se toman las decisiones sobre la distribución de la red de ferrocarriles urbanos, el trazado de las líneas y la ubicación de las estaciones. Si bien estas decisiones se basan principalmente en la distribución y la jerarquía de las centralidades y la concentración económica de la ciudad, los planificadores y gerentes de proyecto locales también pueden influir en el valor del nodo, en menor medida, a través de modalidades de menor jerarquía (incluida la red de integración multimodal de autobuses y ferrocarriles), políticas de integración tarifaria, servicios de transporte no motorizado y otras mejoras para la estación y sus alrededores.

Valor posicional

El valor posicional se refiere a la calidad urbana de las inmediaciones de una estación de ferrocarril y a su atractivo en términos de servicios locales y facilidad de acceso a pie o en bicicleta a puestos de trabajo, centros comerciales, escuelas y otros servicios sociales y económicos. Generalmente se refiere a la calidad del tejido urbano y del entorno edificado en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril que se han descrito anteriormente en el contexto de las mejoras de la accesibilidad local que crean vecindarios habitables y pujantes (véase la imagen 16.4). El concepto de valor posicional está relacionado directamente con el concepto de accesibilidad local y las características de DOT que se describen en las "3 D/5 D", las directrices del Estándar DOT del Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo (ITDP, 2017); *Ten Principles for Building Healthy Places* (Diez principios para construir lugares saludables) de Urban Land Institute (Eitler, McMahon y Thoerig, 2013); *Complete Communities Toolbox* (Conjunto completo de herramientas para las comunidades) de la Universidad de Delaware (Scott, Patterson y Nau, 2013), y la Iniciativa para la Prosperidad de las Ciudades del Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat, 2015), entre otras publicaciones.

Para los especialistas locales, el valor posicional es la principal oportunidad para generar valor en los alrededores de las estaciones y abarca no solo la

IMAGEN 16.4. Incremento del valor posicional debido a los espacios públicos aptos para peatones y el desarrollo comercial en los alrededores de la Estación Hakata: Kyushu, Japón

Fuente: Wikimedia Commons.

calidad del tejido urbano, que incluye el ordenamiento territorial y el diseño de espacios públicos, sino también el desarrollo económico y la actividad socio-cultural que respaldan las estrategias de diseño participativo de espacios públicos para el beneficio de las comunidades locales.

Valor potencial de mercado

El valor potencial de mercado se refiere al valor de mercado de las áreas de las estaciones de ferrocarriles urbanos que no ha sido aprovechado. Se obtiene mediante un análisis de mercado (de estudio de la oferta y la demanda de desarrollo inmobiliario) y se mide a través de un índice compuesto que incluye: a) los principales factores que impulsan la demanda, como las densidades residenciales y de empleo actuales y futuras y el futuro número de empleos accesibles en transporte público en 30-45 minutos (accesibilidad regional), y b) los principales factores que impulsan la oferta, que incluyen el suelo urbanizable,

los posibles cambios en la ordenación del territorio, como el aumento del coeficiente de utilización del suelo (CUS), y el vigor del mercado.

Aplicación del enfoque de las "3 V"

En el enfoque de las "3 V" para caracterizar las estaciones de ferrocarril urbano, se mira hacia el futuro, y no hacia el pasado. Los especialistas locales (gerentes de proyecto y planificadores del DOT), en primer lugar, deben comprender el valor potencial de mercado de cada estación, y luego identificar las condiciones actuales de los diferentes lugares y su potencial de transformación en el futuro. Este análisis, en definitiva, determinará, la forma del DOT y su potencial para generar valor.

Los especialistas locales interesados en las oportunidades que puedan generar valor en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril urbano pueden comenzar por identificar los desequilibrios entre la conectividad, la accesibilidad, la calidad del espacio público y los valores potenciales de mercado. Al abordar estos desequilibrios, se gestan valiosas oportunidades para generar valor económico mediante, por ejemplo, la creación de valor posicional en torno a un nodo intermodal importante o el aumento de la conectividad en una zona en pleno auge económico (véase el recuadro 16.6). El desarrollo adyacente al transporte (DAT), al igual que el DOT, ocurre cerca de los medios de transporte público, pero, a diferencia del DOT, no capitaliza esta proximidad con mejoras en la accesibilidad local o en el valor posicional. Un mensaje clave para los especialistas es que, una vez que se lleva a cabo el desarrollo, la transición del DAT al DOT generalmente requiere la intervención del Gobierno local en conjunto con el sector privado, y que la readaptación casi siempre es más costosa y compleja que si se hubiera comenzado desde el inicio del proyecto ferroviario urbano con un plan adecuado de DOT y de intervención en las áreas de las estaciones (Salat y Ollivier, 2017). La incorporación del DOT y otros procesos de planificación del uso del suelo desde el principio del proyecto también puede suscitar un mayor interés y oportunidades para la participación del sector privado en el desarrollo de la infraestructura de los ferrocarriles urbanos o de las áreas de las estaciones.

Mediante el enfoque de las "3 V" y otras guías sobre las diferentes tipologías de DOT y sus resultados, los especialistas locales pueden clasificar cada estación existente o planificada dentro de una tipología y adoptar las mejores estrategias para generar valor de acuerdo con su tipología. Toda comunidad ubicada en las inmediaciones de una estación tiene un perfil único de mercado y una serie de oportunidades y desafíos específicos. Existen tres tipos de estrategias de planificación de estaciones (ocupación o *infilling*, intensificación y transformación), que deben adaptarse al contexto específico de cada

RECUADRO 16.6.

Activación del potencial de un nodo no equilibrado: estación de ferrocarril King's Cross, Londres, Reino Unido

La estación de ferrocarril King's Cross es uno de los principales centros de transporte de Londres, y proporciona conectividad a nivel municipal (Londres), nacional (Reino Unido) e internacional (Europa) a través de diversos servicios y líneas de transporte ferroviario. Específicamente, la estación King's Cross conecta 6 líneas de metro y 17 rutas de autobuses a nivel local con 2 estaciones de ferrocarril que brindan servicios nacionales e internacionales de transporte ferroviario. Crossrail, una importante extensión del metro de Londres, añadirá una séptima línea de metro en King's Cross en 2018. Además, cinco aeropuertos internacionales se encuentran a una hora en tren de King's Cross, de los cuales tres están conectados con esta estación mediante servicios directos.

Ese nivel de conectividad y accesibilidad otorga un alto *valor del nodo* a King's Cross; sin embargo, las 27 hectáreas de tierras vecinas no urbanizadas indicaban que su *valor posicional* y su *valor de mercado* aún no se habían explotado de manera adecuada. Por ende, se implementó una estrategia para maximizar el valor a largo plazo de los activos públicos existentes (terrenos) y generar mayores beneficios para el público en general. Bajo la supervisión del Departamento de Transporte, las propiedades públicas se han ofrecido como capital para participar en empresas conjuntas de desarrollo en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril de King's Cross y Stratford. En el nuevo plan maestro de la zona, se otorga gran importancia a la provisión de áreas públicas de alta calidad, los que abarcarán 20 calles nuevas y 10 espacios públicos nuevos, incluidas 5 plazas (véase la imagen B16.6.1). En general, el 40 % del emplazamiento será un espacio público de alta calidad, y el 60 % restante se destinará a nuevos espacios de trabajo que ocuparán 280 000 metros cuadrados; tiendas minoristas, bares, restaurantes e instalaciones de esparcimiento que abarcarán 46 000 metros cuadrados; 2000 nuevas viviendas; una nueva universidad, y centros educativos, hoteleros y culturales.

En 2020, hasta 50 000 personas vivirán, estudiarán y trabajarán en King's Cross, lo que representa una densidad residencial y laboral combinada de casi 200 000 personas por kilómetro cuadrado. Google ha destinado alrededor de GBP 650 millones para

IMAGEN B16.6.1. Espacios públicos aptos para peatones y desarrollo en los alrededores de la estación King's Cross: Londres, Reino Unido

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 16.6.

Activación del potencial de un nodo no equilibrado: estación de ferrocarril King's Cross, Londres, Reino Unido *(Continuación)*

IMAGEN B16.6.1. Espacios públicos aptos para peatones y desarrollo en los alrededores de la estación King's Cross: Londres, Reino Unido *(Continuación)*

Fuente: © Felipe Targa. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

comprar y desarrollar un emplazamiento de 1 hectárea, y la urbanización finalizada tendrá un valor de hasta GBP 1000 millones. Se anticipa que la presencia de Google atraiga a otras empresas de tecnología a King's Cross y ayude a desarrollar un centro de innovación local. Luego del desarrollo, se prevé que el nuevo equilibrio entre el alto valor del nodo y un valor posicional elevado fomente un valor de mercado alto con un rendimiento más elevado de los arrendamientos y bienes inmuebles (y los ingresos tributarios gubernamentales relacionados) que el resto de Londres.

estación. Por ejemplo, las estaciones de ferrocarril suburbano tienen un potencial limitado de desarrollo de mercado a corto plazo, pero ofrecen valiosas oportunidades de uso del suelo. Las estrategias de planificación de estaciones y las iniciativas de implementación basadas en la ocupación son necesarias en las siguientes áreas: la planificación enfocada a mayores densidades a largo plazo, la integración multimodal, y la promoción de la igualdad para las comunidades vulnerables mediante la provisión de viviendas asequibles. Las estrategias de planificación de estaciones basadas en la intensificación son más adecuadas para las zonas con mercados emergentes que cuentan con un servicio de transporte adecuado y pueden soportar mayores densidades; se trata de zonas privilegiadas donde el DOT puede servir como agente catalizador para impulsar su economía y proporcionar viviendas asequibles. Las estrategias de planificación de estaciones basadas en la transformación se aplican en centros principales de actividad, que ya respaldan altas densidades de empleo y población. En estas estaciones, el DOT debe concentrarse en crear un nivel alto de valor posicional a través de inversiones importantes en los servicios locales y las áreas públicas, y otras innovaciones como la readaptación de edificios y la reducción de estacionamientos.

El DOT y las estrategias de generación de valor

Las estrategias de generación de valor están relacionadas directamente con los beneficios en materia de accesibilidad y otros servicios locales de las comunidades que tienen el potencial de capitalizar estos beneficios en el valor del terreno. Una de las estrategias más comunes que los especialistas locales aplican para aprovechar los beneficios de las inversiones en proyectos ferroviarios urbanos consiste en fomentar el desarrollo en las inmediaciones de las estaciones a través de políticas de ordenación del territorio, de asignación del espacio público y otros instrumentos convencionales de planificación.

Creación de comunidades compactas y de uso mixto

Las políticas de ordenación del territorio deben aumentar la compacidad y la diversidad de los usos del suelo en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril. Una forma de aumentar la compacidad es incrementar el coeficiente de utilización del suelo para fomentar un nivel más alto y denso de desarrollo. El coeficiente de utilización del suelo generalmente se establece en diferentes niveles dependiendo de los usos del suelo y el aumento de la accesibilidad[3]. También es recomendable permitir que los promotores privados ajusten el uso y la intensidad del desarrollo en función de las necesidades o condiciones dinámicas del mercado. Al ofrecer bonificaciones de utilización del suelo adicionales y otros incentivos normativos, los especialistas pueden exigir

a los promotores que proporcionen viviendas asequibles, guarderías y espacios para otros servicios públicos en las nuevas instalaciones (en Londres y Nueva York se han utilizado estos mecanismos).

La compactación a escala vecinal también incluye la integración espacial mediante la adecuada conectividad y señalización para peatones y ciclistas en el recorrido hacia las estaciones, lo que a su vez promueve la interacción social y brinda una sensación de seguridad. Los usos del suelo diversos y complementarios dentro de la misma manzana o en manzanas adyacentes, también generados mediante cambios en la normativa de ordenación del territorio, reducen la duración de los traslados y fomentan la concentración de la actividad económica. La urbanización de uso mixto que concentra servicios comerciales, culturales, recreativos y educativos ayuda a crear comunidades económicamente activas y sostenibles.

Priorización de los espacios para peatones

La creación de espacios públicos dinámicos y activos para peatones facilita el desplazamiento a pie (véase la imagen 16.5). Caminar puede resultar muy atractivo cuando las aceras son lugares alegres que, cuando se encuentran junto a la planta baja de edificios, pueden ofrecer actividades y servicios convenientes, como escaparates y restaurantes. Los peatones y ciclistas aumentan la exposición y la vitalidad de las tiendas minoristas locales, lo que genera un entorno que fomenta el crecimiento económico local. Este entorno orientado al transporte no motorizado permite que las personas no se encuentren oprimidas por la congestión y la densidad y se sientan a gusto en la calle, además de crear una "identidad propia" y un desarrollo a escala humana (Salat y Ollivier, 2017). El acceso seguro, conectado y conveniente para peatones y ciclistas ayuda a garantizar la obtención de los beneficios del DOT en las inmediaciones de la estación de ferrocarril, incluso más allá de la zona complementaria de DOT.

Reducción de las áreas de estacionamiento

Los terrenos que rodean las estaciones de ferrocarril urbano son sumamente valiosos. Sin embargo, algunos organismos de ejecución del proyecto deciden utilizar una parte de estos terrenos como áreas de estacionamiento. En un estudio reciente realizado en varias ciudades estadounidenses, se determinó que incluso en las estaciones de ferrocarril basadas en el DOT en las que se construyeron menos áreas de estacionamiento que las recomendadas por la normativa de diseño, los estacionamientos no se utilizaron en su totalidad y hubo un exceso de oferta de entre el 58 % y el 84 % (Smart Growth America, 2016). La creación de áreas de estacionamiento y ascenso/descenso de

IMAGEN 16.5. Urbanización compacta y de uso mixto con espacios comerciales a nivel de la calle que priorizan a los peatones: Morningside Heights, Ciudad de Nueva York, Estados Unidos

Fuente: Luc Nadal. Reproducido con autorización en virtud de la licencia CC de ITDP.

pasajeros en las estaciones de ferrocarril suburbano generalmente queda justificada porque dichas estaciones son utilizadas por pasajeros que llegan en automóvil. Sin embargo, este no es el caso de las estaciones centrales de zonas urbanas consolidadas o de las estaciones de ferrocarril urbano de ciudades en desarrollo, donde la mayoría de los usuarios del transporte público no posee un vehículo privado. Si los especialistas locales planifican enfocándose en los automóviles, conseguirán una afluencia de automóviles; en cambio, si planifican enfocándose en las personas, con accesos para peatones y ciclistas y servicios de conexión, entonces lograrán que se acerquen peatones y ciclistas, y habrá un mayor número de pasajeros en las estaciones de ferrocarril.

En este sentido, las recomendaciones del Estándar DOT del ITDP son fundamentales. En las zonas de alto valor basadas en el DOT, los vehículos motorizados privados se tornan prácticamente innecesarios en la vida diaria, lo que permite reducir la superficie ocupada por las carreteras. El escaso y valioso espacio urbano utilizado para calles y estacionamientos innecesarios puede reasignarse a usos más productivos desde el punto de vista social y económico (ITDP, 2017). A fin de respaldar el diseño de comunidades basadas en el DOT, el espacio previamente asignado para los automóviles ahora debe cederse a los peatones y ciclistas. Caminar y andar en bicicleta son los medios de transporte a corta distancia más naturales, asequibles, saludables y limpios, y un componente necesario de la vasta mayoría de los viajes en transporte público (Salat y Ollivier, 2017). Por lo tanto, son componentes indispensables de toda estrategia de DOT.

Fomento del desarrollo impulsado por la comunidad

La creación de comunidades vivas, inclusivas y sostenibles supone mucho más que aumentar el coeficiente de utilización del suelo, incrementar la compacidad, diversificar los usos del suelo y fomentar el transporte a pie y en bicicleta a través de un diseño urbano adecuado (véase el recuadro 16.7). También requiere políticas generales de desarrollo impulsado por la

RECUADRO 16.7.

Los ocho principios del desarrollo orientado al transporte público inclusivo y resiliente

1. Maximizar la accesibilidad armonizando las densidades económica y de población, la capacidad del transporte público masivo y las características de la red.
2. Crear regiones compactas con distancias cortas entre el hogar y el lugar de trabajo.
3. Garantizar la resiliencia de las áreas conectadas por el transporte público de alta capacidad.
4. Planificar y zonificar para desarrollar vecindarios de uso mixto e ingresos mixtos a nivel del corredor.
5. Crear espacios públicos pujantes y centrados en las personas en los alrededores de las estaciones.
6. Desarrollar vecindarios que fomenten el desplazamiento a pie y en bicicleta.
7. Desarrollar un transporte público integrado, accesible y de buena calidad
8. Gestionar la demanda de vehículos particulares.

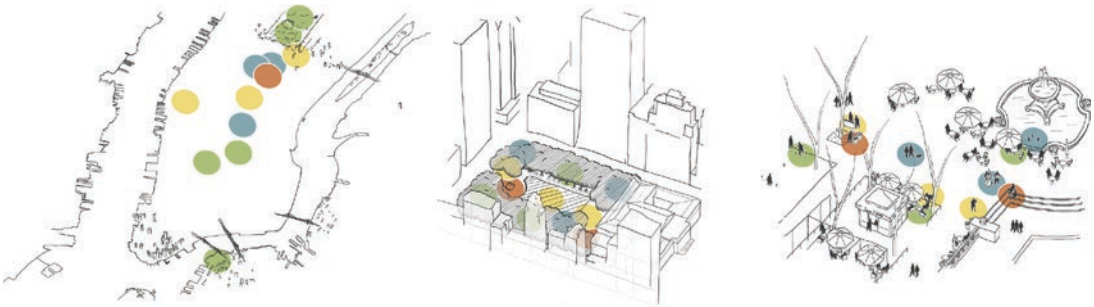
Fuente: Ollivier, 2018.

comunidad y desarrollo económico local. Las inversiones en el DOT tienen como fin estimular una respuesta del mercado; sin embargo, se necesitan muchos otros incentivos e inversiones esenciales en forma de capital humano, servicios comunitarios y programas de desarrollo comercial que ayuden a obtener todos los beneficios del DOT (Salat y Ollivier, 2017). La combinación óptima de usos del suelo y diseño urbano en cada estación está relacionada con la agrupación de oportunidades económicas (comerciales), sociales, culturales, educativas, recreativas y de transporte para satisfacer las necesidades de las personas. Los procesos de planificación local deben enfocarse en las personas, no en las características del uso del suelo y del diseño urbano. El DOT de alta calidad y las oportunidades para generar valor se manifestarán a través de patrones de estilo de vida en la calle que permitan que las personas se trasladen con facilidad y seguridad, y socialicen con otras personas.

Adopción del place making

Un enfoque complementario para crear estrategias que desarrollen y revitalicen ciudades y vecindarios a través del DOT es la metodología denominada "Power of 10+" (Potencia de 10+), que se centra firmemente en el concepto de *place making* (gráfico 16.1). El principio fundamental de esta metodología es que "las ciudades prosperan o fracasan a escala humana (la escala del lugar) y [que] esta escala suele pasarse por alto. La metodología "Power of 10+" demuestra que prestar atención a la experiencia humana cuando se

GRÁFICO 16.1. La metodología "Power of 10+" para transformar ciudades a través del *place making*



Ciudad/región
10+ destinos principales

Destino
10+ lugares en cada uno

Lugar
10+ cosas para hacer, distribuidas para crear sinergia

Fuente: © Project for Public Spaces. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

construyen los destinos y distritos de una ciudad puede tener impactos inmediatos y generalizados" (Project for Public Spaces, 2017).

El argumento es que los lugares, incluidas las comunidades diseñadas según el DOT, prosperan cuando las personas tienen varias razones (idealmente, 10 o más) para vivir allí. Estas razones pueden variar y atraer de distintas formas a diferentes personas e incluyen desde algo tan simple como ofrecer un lugar cómodo para sentarse a leer o una obra de arte para contemplar, hasta una tienda interesante o un buen restaurante para comer y tomar algo con amigos. Idealmente, algunos de estos elementos reflejarán el carácter local de la zona, y proporcionarán una sensación de singularidad con respecto a otras zonas de la ciudad. Estos elementos deben distribuirse cuidadosamente para generar una sensación de sinergia. De este modo, se fortalece el *place making* a escala humana o del lugar, luego a escala de la comunidad o destino y, finalmente, a escala de la ciudad. Un destino tiene más probabilidades de prosperar si reúne 10 o más lugares que las personas desean visitar. A su vez, una ciudad tiene más probabilidades de complacer a sus residentes y a turistas cuando posee, al menos, 10 de estos destinos o distritos para el disfrute de todos (Project for Public Spaces, 1997).

Eliminación de obstáculos en la implementación del DOT

Si bien las tipologías y los principios del DOT están bien documentados, la implementación del DOT a menudo se enfrenta a diversos obstáculos en la práctica. Los desafíos institucionales y las restricciones financieras pueden entorpecer el proceso, y es necesario abordar las inquietudes sobre la gentrificación y los impactos a largo plazo en los residentes de ingresos bajos. La captura del valor del suelo (con la reinversión de parte de los ingresos en la provisión de viviendas asequibles) es una forma de ayudar a recuperar el costo de las mejoras basadas en el DOT en las inmediaciones de las estaciones de ferrocarril.

Obstáculos en la implementación del DOT

En teoría, la justificación de la planificación integrada del transporte, los aspectos económicos y el uso del suelo es simple e irrefutable. Los verdaderos obstáculos para su aplicación residen en implementar los conceptos y estrategias descritos anteriormente en estructuras institucionales permanentes, superar intereses fuertemente arraigados y otras cuestiones relacionadas con la economía política, y abordar el desafío constante de la escasez de recursos. En esta subsección se enumeran los obstáculos más frecuentes y se sugieren posibles soluciones para abordarlos[4].

Procesos a largo plazo ante la urgencia política

Conseguir una transformación estratégica de desarrollo económico, del transporte y del uso del suelo de una ciudad es un proceso prolongado que suele tomar entre 10 años y 20 años. Este proceso requiere de un compromiso a largo plazo en contextos en los que los líderes políticos de la ciudad suelen cambiar cada tres o cinco años. La relativa facilidad con la que los planes maestros e incluso los proyectos tan costosos como las nuevas líneas ferroviarias urbanas pueden ser modificados por los nuevos Gobiernos en las ciudades en desarrollo hace que sea más difícil lograr este tipo de transformación.

Algunas soluciones para superar este desafío incluyen fortalecer las instituciones y los procesos de planificación a largo plazo y brindar mayor flexibilidad para cambiar el área de la estación cada vez, sin desbaratar todo el proyecto ferroviario urbano. Los especialistas pueden elegir una estación estratégica en la que las oportunidades y el posible impacto estén armonizados entre sí mediante las guías sobre las diferentes tipologías de DOT y las estrategias de generación de valor presentadas en este capítulo. A partir de un caso con resultados satisfactorios, los especialistas pueden aplicar los conceptos de DOT en toda la extensión de la nueva línea ferroviaria urbana.

Fragmentación metropolitana

La geografía natural de la planificación integrada del transporte, los aspectos económicos y el uso del suelo corresponde al nivel metropolitano (la aglomeración funcional de personas, industrias, viviendas e infraestructura). En algunos casos (por ejemplo, China), las fronteras políticas de una ciudad se extienden más allá del área metropolitana funcional. En otros casos (por ejemplo, en Estados Unidos y en muchos países de América Latina), el área metropolitana funcional abarca las fronteras políticas de varias ciudades. Por ende, los proyectos ferroviarios urbanos y las intervenciones basadas en el DOT requieren la coordinación entre diversos Gobiernos municipales. El desarrollo de una nueva línea ferroviaria urbana generalmente se logra con el apoyo financiero de los niveles más altos de Gobierno (a nivel estatal o provincial, o a nivel nacional o federal). Para obtener dicho apoyo financiero, las diferentes ciudades que componen un área metropolitana deben implementar mecanismos que les permitan trabajar en conjunto durante la planificación, la implementación y las operaciones de la infraestructura de los ferrocarriles urbanos y otras mejoras urbanas. Los especialistas locales deben utilizar estos mecanismos específicos como punto de partida para una planificación más detallada del transporte, de los aspectos económicos y del uso del suelo a escala metropolitana, que quizás culmine en el establecimiento de autoridades metropolitanas de transporte y uso del suelo (véase el capítulo 12).

Enfoque de "compartimentos estancos"

Los departamentos y organismos municipales tienen misiones, objetivos, estructuras de gestión y perfiles del personal establecidos desde hace mucho tiempo que a veces no concuerdan con las iniciativas de aplicación del DOT a través de la planificación integrada del transporte, los aspectos económicos y el uso del suelo. Por ejemplo, en muchos países, los departamentos de transporte tienen escasos conocimientos sobre las cuestiones relativas al uso del suelo, posiblemente desestimen la importancia del diseño urbano orientado a la funcionalidad, y generalmente se concentren en mejorar la movilidad, en lugar de la accesibilidad. A su vez, los organismos independientes de planificación urbana suelen tener dificultades para comprender la dinámica del transporte y las oportunidades de desarrollo urbano que presenta. Por último, la administración y el personal de ambas partes tienen presupuesto e incentivos limitados para realizar el esfuerzo adicional necesario para generar entornos integrados.

Si no existen instituciones y regulaciones que promuevan las prácticas de planificación integradas y multisectoriales, el proyecto ferroviario urbano puede servir como agente catalizador de reorganización institucional, de las nuevas prácticas de desarrollo y de un proceso de cambio con miras al futuro. Si bien es probable que los proyectos ferroviarios urbanos sean dirigidos por los organismos de transporte de la ciudad, también se debe involucrar al personal clave de los organismos de planificación urbana para que participe en las reuniones y los comités estratégicos y presente sus aportes libremente durante toda la planificación del proyecto. Oportunamente, los organismos de transporte y planificación también deben elaborar un plan integrado de transporte, de aspectos económicos locales y de uso del suelo para el corredor de los ferrocarriles urbanos (zonas complementarias de 800 metros a 1 kilómetro), y posteriormente, planes detallados del área de la estación y las comunidades.

Restricciones financieras

Los proyectos ferroviarios urbanos son sumamente costosos, especialmente cuando se necesitan inversiones adicionales para lograr una mejor integración del uso del suelo y el DOT. En consecuencia, aunque los Gobiernos nacionales asuman la mayoría del costo del proyecto, los Gobiernos municipales se enfrentan a grandes dificultades para proporcionar los fondos y el financiamiento necesarios para generar beneficios urbanos y económicos óptimos a partir de las intervenciones de DOT a escala local. Lamentablemente, las ciudades suelen recortar gastos cuando se enfrentan a este desafío, por ejemplo, muchas veces el trazado se desvía de las ubicaciones estratégicas debido a los

costos de adquisición de terrenos; las soluciones subterráneas se reemplazan por sistemas a nivel y elevados, incluso en áreas de valor estratégico, y se descartan los componentes de diseño urbano que facilitan la integración con los autobuses alimentadores, el transporte no motorizado y los espacios públicos. Los especialistas deben examinar las diferentes alternativas, incluidas las opciones progresivas de DOT, por ejemplo, la adaptación de los planes de uso del suelo y las estrategias de ordenación del territorio para incrementar los ingresos de la ciudad procedentes del impuesto inmobiliario y del impuesto sobre las ventas. Estas y otras estrategias de CVS se analizan en más detalle en este capítulo.

El desafío de la readaptación

Las primeras líneas ferroviarias urbanas de cualquier ciudad se desarrollarán en áreas de alta demanda que, en su mayoría, ya tienen densidades, usos del suelo y patrones de diseño urbano consolidados. En consecuencia, la readaptación de estas áreas de acuerdo con los principios del DOT como consecuencia de la construcción de una nueva línea ferroviaria urbana es más compleja que desarrollar un emplazamiento sin estructura previa. Uno de los principales desafíos a la hora de readaptar áreas ya edificadas es que la mayoría de las propiedades ubicadas dentro de la zona de influencia de la estación pertenecen a empresas privadas o familias, por lo que el Gobierno tiene escaso control sobre ellas. Otro desafío es la necesidad implícita de demolición de activos físicos existentes (edificios, viviendas o infraestructura), lo que conlleva altos costos económicos y sociales, incluido el reasentamiento involuntario de los residentes (véase el capítulo 14).

El primer principio que debe tenerse en cuenta al examinar las propiedades existentes es que su valor aumentará considerablemente tras la construcción de la línea ferroviaria urbana, así como las inversiones en espacios públicos y otras instalaciones locales, especialmente si se encuentran cerca de las entradas de las estaciones. Las ciudades pueden beneficiarse de la adquisición de propiedades con ubicaciones estratégicas lo antes posible, aunque deban pagar una suma superior al precio de mercado actual. Por otra parte, en ocasiones el mejor enfoque es simplemente permitir que las regulaciones y los mercados lleven a cabo esta transformación deseada. Al aumentar los coeficientes de utilización del suelo y modificar la composición del uso del suelo a través de nuevas políticas de ordenación del territorio para atraer un mayor número de personas y de actividad económica en los alrededores de las nuevas estaciones de ferrocarriles urbanos, el propio mercado puede ejercer suficiente presión sobre los propietarios disidentes.

Sin embargo, también es importante equilibrar la dinámica de mercado para garantizar que las comunidades conserven su identidad propia y su sentido de

comunidad y, en general, que los beneficios de la nueva línea ferroviaria urbana y del DOT se disfruten de manera más equitativa. Este equilibrio a menudo se logra utilizando una parte de los ingresos procedentes del desarrollo conjunto o de los mayores ingresos fiscales para financiar proyectos y programas que proporcionen viviendas asequibles y protejan a los propietarios de empresas locales.

El DOT y la gentrificación

Los promotores y el mercado inmobiliario pueden aprovechar la mejora de la accesibilidad que proporciona la implementación del DOT para crear comunidades densas, habitables y de uso mixto, pero también inaccesibles económicamente. Casi por definición, el DOT aumenta el precio del suelo en los alrededores de la estación y no solo atrae nuevos pasajeros al sistema ferroviario urbano, sino también nuevos residentes a las inmediaciones de las estaciones (incluso a áreas actualmente desarrolladas). Este incremento del precio del suelo no implica necesariamente el aumento del precio de las viviendas, dado que el mejor uso del suelo disponible conlleva una mayor densidad y un mayor número de viviendas, lo que, en teoría, podría disminuir el valor del metro cuadrado. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el precio de las viviendas aumenta con la construcción de la infraestructura de ferrocarriles urbanos y del DOT debido a que no se equilibra la nueva oferta con el aumento del precio del suelo. En tales casos, los residentes locales pueden verse expulsados de sus hogares por el aumento de los precios (véase la imagen 16.6).

Para mitigar este impacto social, los Gobiernos municipales pueden combinar iniciativas de planificación y ordenación del territorio basadas en el DOT con la provisión de viviendas incluyentes o un número mínimo garantizado de viviendas asequibles por cada proyecto de urbanización. Asimismo, la ciudad puede recuperar los mayores valores del suelo y reinvertirlos en el desarrollo de viviendas asequibles en las inmediaciones de las estaciones bien conectadas de la red de ferrocarriles urbanos. La necesidad de viviendas asequibles debe considerarse a nivel de la red y sopesarse para mitigar el desplazamiento de los residentes locales, sin desalentar la oferta de viviendas nuevas y de mayor densidad por parte de los promotores.

Si bien los precios del suelo probablemente aumenten en los alrededores de las estaciones, otras áreas adyacentes a derechos de vía a nivel o elevadas o cercanas a los talleres de mantenimiento o a las zonas de almacenamiento podrían experimentar una disminución de su valor o acumular importantes externalidades negativas. El diseño y la implementación de estas instalaciones deben minimizar el impacto en los edificios adyacentes, y quizás sea necesario aplicar mejoras y medidas de mitigación en las comunidades próximas a estas áreas a cambio del respaldo a la infraestructura de los ferrocarriles urbanos (véanse los capítulos 14 y 15).

IMAGEN 16.6. Un propietario de un edificio clásico (Brownstone) en Upper Manhattan responde a la presión de la gentrificación con un cartel en la puerta: Ciudad de Nueva York

Fuente: Luc Nadal. Reproducido con autorización en virtud de la licencia CC de ITDP.

Uso de la captura del valor del suelo para aplicar el DOT

En lugar de representar una carga financiera adicional, la optimización de la integración del transporte, los aspectos económicos y el uso del suelo a lo largo del trazado de los ferrocarriles urbanos y la promoción del desarrollo o la reconstrucción basada en los conceptos del DOT ofrecen una oportunidad para que el Gobierno añada más valor a la ciudad y, a su vez, obtenga alternativas adicionales de financiamiento a partir de la inversión en los ferrocarriles urbanos. Incluso con estos posibles fondos, muchas ciudades de países de ingreso bajo y medio

no destinan suficientes fondos para la construcción y la provisión de servicios de ferrocarriles urbanos. En estas ciudades, las inversiones iniciales son grandes en comparación con su capacidad tributaria y con los ingresos procedentes de la recaudación de impuestos. Asumir gastos adicionales para la adquisición de terreno, la mejora de los espacios públicos, la provisión de servicios de conexión para autobuses y bicicletas o la participación en oportunidades de desarrollo conjunto puede suponer una carga aún más onerosa sobre el Gobierno a corto plazo. Sin embargo, los proyectos ferroviarios urbanos concebidos para mejorar la accesibilidad y catalizar el DOT pueden tener un impacto significativo en los valores de las propiedades de la zona de influencia del proyecto, por lo que la inversión suplementaria en las áreas de la estación tiene grandes posibilidades de generar una rentabilidad financiera y económica. El desafío reside en la capacidad del Gobierno de recuperar parte de estas inversiones recuperando una porción de los aumentos del valor de las propiedades.

Suzuki y otros (2015) describen cómo las ciudades pueden aplicar la CVS para financiar y promover el crecimiento urbano inclusivo. Es de vital importancia que los Gobiernos se aseguren de poder recuperar una parte de las inversiones en ferrocarriles urbanos y en medidas complementarias a través del valor generado, de modo que puedan financiar proyectos estratégicos basados en el DOT y, con el tiempo, lograr mejoras más amplias en los patrones de desarrollo urbano. Al invertir una parte del valor recuperado en parques, aceras, alumbrado público y carriles para bicicletas, los Gobiernos municipales pueden trabajar con los organismos de transporte, los promotores y las comunidades para crear espacios públicos eficaces, atractivos y seguros y, de este modo, incrementar el valor de las propiedades.

Las dos categorías principales de CVS son la CVS basada en impuestos o en tarifas y la captura del valor del suelo basada en el desarrollo. En esta subsección se analizan los instrumentos de CVS más comunes de cada una de estas categorías. Sin embargo, se han creado muchos otros instrumentos basados en los distintos marcos jurídicos, jurisdiccionales y normativos locales (por ejemplo, los cargos por impacto en los Estados Unidos y la transferencia de derechos de construcción o la emisión de valores para incrementar la "edificabilidad" en Argentina, Brasil y Colombia) (véase el capítulo 10).

Instrumentos de recuperación del valor del suelo basados en impuestos o en tarifas

Existen tres tipos de instrumentos basados en impuestos o en tarifas: los impuestos inmobiliarios, los impuestos para el mejoramiento y el financiamiento por aumento de impuestos.

Muchas ciudades cobran alguna forma de impuesto a los propietarios sobre la base del valor estimado del suelo (y, en algunos casos, de las estructuras

edificadas en él). Por lo tanto, un aumento del valor de mercado de una propiedad debido a la mejora de la accesibilidad o las posibles nuevas oportunidades de desarrollo debe suponer un incremento en los ingresos procedentes de los impuestos inmobiliarios.

Sin embargo, la aplicación de un impuesto inmobiliario conlleva ciertas dificultades. En primer lugar, si bien en muchos países de ingreso alto tradicionalmente se han cobrado impuestos inmobiliarios, en los países de ingreso bajo y medio, donde los derechos de propiedad no suelen estar claramente definidos, la noción de pagar un impuesto inmobiliario puede ser problemática. Además, para los Gobiernos municipales que disponen de poco dinero, la implementación de sistemas eficaces de impuestos inmobiliarios puede resultar muy costosa, ya que se necesita un sistema catastral detallado y actualizado, además de equipos expertos en avalúos y recaudación de impuestos.

Los impuestos para el mejoramiento son una forma mucho más directa de CVS que los impuestos inmobiliarios. A través de estas contribuciones, se cobra una parte del costo de la inversión a los propietarios que se benefician directamente de las inversiones públicas, con anterioridad a la construcción o una vez que se la termina. El beneficio se refiere al aumento específico del valor de la propiedad derivado de la construcción de la nueva línea ferroviaria urbana, las instalaciones complementarias, etc. Los impuestos para el mejoramiento se han utilizado para recuperar entre un 30 % y un 60 % del aumento del valor de las propiedades generado por el gasto público.

Sin embargo, para estimar con precisión el aumento del valor de cada propiedad, es necesario realizar seguimientos y análisis catastrales sofisticados que pueden resultar difíciles[5]. Asimismo, cobrar los impuestos para el mejoramiento, además de los impuestos inmobiliarios, puede ser una medida poco aceptada por la sociedad.

El financiamiento por aumento de impuestos se utiliza principalmente en Estados Unidos, pero se está comenzando a aplicar poco a poco en otros países. La idea es reservar el futuro aumento de los ingresos procedentes de los impuestos inmobiliarios en las áreas seleccionadas para la reconversión para financiar directamente las inversiones estratégicas que facilitarían ese proceso de reconversión. En el marco de este capítulo, esas inversiones incluirían construir una línea ferroviaria urbana o estaciones de ferrocarril específicas, así como mejorar espacios públicos y prestar servicios en los alrededores de las estaciones. El área seleccionada para la reconversión se considera un distrito de financiamiento por aumento de impuestos, lo que efectivamente congela todas las tasaciones de las propiedades en el distrito y, por tanto, su contribución al fondo general de impuestos inmobiliarios. En cambio, el aumento del impuesto en el distrito se asigna directamente al servicio y el reembolso de la

deuda municipal emitida a cambio del aumento previsto de los ingresos tributarios.

Captura del valor del suelo basada en el desarrollo

Existen cuatro tipos de captura del valor del suelo basada en el desarrollo: la venta o el arrendamiento de propiedades, el desarrollo conjunto, la venta de derechos aéreos y el reajuste de terrenos.

En el caso de la venta o el arrendamiento de propiedades, el Gobierno o el organismo de transporte posee o adquiere terrenos antes de construir la nueva línea ferroviaria urbana, prestar servicios en la zona, y efectuar cambios estratégicos en el coeficiente de utilización del suelo y la designación del uso del suelo. Una vez que la zona está debidamente equipada y lista para la implementación del DOT, los terrenos públicos se venden o se arriendan a los promotores privados, mientras el Gobierno recupera todo el aumento del valor del suelo derivado de sus iniciativas. El desafío consiste en adquirir con anticipación las propiedades ubicadas en zonas de alta demanda de la ciudad que probablemente tendrán un costo elevado incluso antes de la construcción urbana. Una alternativa es seleccionar zonas periféricas de la línea ferroviaria urbana que puedan ser menos costosas; sin embargo, la reconversión debe ir respaldada por el plan integrado de transporte y uso del suelo de la ciudad para que los valores de las propiedades aumenten notablemente.

El desarrollo conjunto alude los casos en los que el organismo de transporte se asocia con agentes del sector privado en un proyecto inmobiliario, y generalmente comparten los flujos de ingresos y la propiedad. El desarrollo conjunto normalmente se ubica en los alrededores de las estaciones, en terrenos que eran propiedad del organismo de transporte o habían sido adquiridos por este, pudiendo abarcar incluso hasta la estación urbana adyacente y otras instalaciones de espacios públicos habitualmente construidas por el Gobierno. En este caso, la CVS se logra mediante un importante ahorro de costos en el desarrollo de la infraestructura clave para catalizar el DOT, la creación de nuevos flujos de ingresos para el organismo de transporte a partir de operaciones inmobiliarias, o incluso ambos (véase el capítulo 10). Muchos organismos de transporte del mundo —incluida la WMATA de la ciudad de Washington, MTRC de la Región Administrativa Especial de Hong Kong, China, y Crossrail de Londres (véase la imagen 16.7)— anualmente perciben ingresos considerables a través de los convenios de desarrollo conjunto.

Con la venta de derechos aéreos, los Gobiernos cobran por cambios estratégicos en las regulaciones del uso del suelo en predios específicos, por ejemplo, mediante el aumento del coeficiente de utilización del suelo permitido o la modificación del tipo de uso del suelo, en lugar de otorgar su concesión de

IMAGEN 16.7. Vista aérea de la estación Woolwich y los desarrollos de Berkeley Homes sobre la estación: Londres, Reino Unido

Fuente: © Crossrail, Ltd. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

forma gratuita. Este nuevo flujo de ingresos puede utilizarse para financiar inversiones en desarrollo urbano y mejoras en las comunidades. Los Gobiernos municipales conservan la facultad de elegir en qué lugares desean permitir la venta de derechos aéreos (por ejemplo, cerca de las estaciones urbanas para promover el DOT). Por ejemplo, en São Paulo, Brasil, la venta de derechos aéreos se realiza a través de certificados de potencial adicional de construcción (CEPAC), que se aplican únicamente en zonas preseleccionadas de la ciudad; los ingresos generados se reservan para el financiamiento de inversiones en infraestructura urbana predefinidas. Los CEPAC son un híbrido entre la CVS basada en el desarrollo y la CVS basada en impuestos, dado que su precio incluye tanto el precio de los derechos aéreos como el futuro aumento del valor del suelo derivado de las inversiones en infraestructura financiadas por los CEPAC.

El reajuste de terrenos se utiliza comúnmente en las zonas periféricas de la ciudad, donde la distribución actual del suelo es algo irregular para el DOT y

posiblemente falten algunos servicios urbanos. Una vez que se ha seleccionado la zona para la expansión urbana, el Gobierno agrupa todos los predios de interés y los reestructura en formas más eficaces que respondan específicamente a las necesidades del DOT. Finalmente, los propietarios reciben un terreno más pequeño, pero que cuenta con mejores servicios públicos y tiene un mayor potencial de desarrollo. El Gobierno, a su vez, vende los terrenos extra o restantes al sector privado para que los desarrollen, con lo que se generan nuevos ingresos para el sector público que pueden utilizarse para financiar la estación urbana u otros servicios públicos esenciales en la zona.

Estos y otros instrumentos de CVS pueden utilizarse para aprovechar el DOT y el aumento del precio del suelo relacionado con el desarrollo de los ferrocarriles urbanos como una fuente de fondos o un instrumento de financiamiento para la inversión en infraestructura. A pesar de las preocupaciones por el aumento del riesgo de gentrificación, los instrumentos de CVS no afectan al precio de mercado, siempre y cuando la oferta de propiedades en el área de la estación sea suficiente. Sin embargo, cuando la demanda supera la oferta, el Gobierno municipal o regional deberá considerar otras iniciativas para garantizar una cantidad mínima de viviendas asequibles dentro del área.

Implementación del DOT: creación de una coalición de apoyo

La transformación de los patrones de desarrollo urbano de una ciudad es un proceso prolongado en el tiempo que comienza a dar resultados tangibles en el largo plazo. Si bien se necesita una visión integrada y a largo plazo de la forma urbana y del desarrollo del transporte de la ciudad, las transformaciones más importantes comienzan con un proyecto o una comunidad a la vez. Se deberá hacer más hincapié en implementar un primer proyecto que demuestre la visión del Gobierno y las posibilidades para avanzar, de tal forma que se fomente el desarrollo de nuevos proyectos en otros lugares.

Según el enfoque de las "3 V", los nodos equilibrados ofrecen las oportunidades más prometedoras para intervenir y consolidar el DOT (Salat y Ollivier, 2017). Los nodos equilibrados son áreas donde la nueva línea ferroviaria urbana se cruza con otras líneas clave de transporte público y, en caso de que exista un nivel adecuado de densidad poblacional y usos mixtos del suelo, todavía habrá capacidad y potencial demanda de mercado para promover un mayor nivel de desarrollo. Por ende, en las primeras etapas de planificación del trazado de la nueva línea ferroviaria urbana, se deben identificar los nodos equilibrados y otras zonas de valor estratégico e iniciar la planificación para la transformación de dichas zonas.

El esfuerzo puesto en la creación de estos planes será en vano si no se logra reunir una amplia coalición de apoyo que se comprometa con su implementación. Especialmente en el caso de las estaciones de ferrocarriles urbanos y del DOT, donde el objetivo es cambiar el tejido urbano de las ciudades y las comunidades, los obstáculos que surjan a lo largo del camino solo podrán superarse con la voluntad de quienes se comprometan a concretar tales cambios. Las coaliciones de apoyo no se forman de la noche a la mañana; deben desarrollarse gradualmente desde las primeras etapas del proceso de planificación. Es fundamental crear confianza entre todas las partes involucradas en el proyecto para facilitar su compromiso ante posibles situaciones difíciles a lo largo del camino y superar los diversos desafíos durante su ejecución.

Los planificadores de los principales organismos de transporte y desarrollo urbano deberán formar la coalición de apoyo e impulsarla con determinación hasta la finalización del proyecto. En este sentido, las capacidades sociales y políticas de los planificadores para operar dentro de diferentes niveles de influencia y convencer a las personas de la importancia del DOT son tan importantes como su dominio de todos los aspectos técnicos de la planificación integrada del transporte y el uso del suelo.

En las primeras etapas, los planificadores deben identificar a todos los actores clave de la ciudad y poner en marcha un proceso de acercamiento entre ellos, recopilando las diferentes opiniones acerca de la factibilidad del proyecto(véase el cuadro 16.1). En estas primeras consultas, deben examinarse todos los posibles aspectos para la implementación del DOT, desde los lugares de la ciudad que tienen el mayor potencial para el DOT hasta la identificación de los

CUADRO 16.1. Principales partes interesadas en la implementación del DOT

FUNCIONARIOS ELECTOS	ORGANISMOS PÚBLICOS	SECTOR PRIVADO	COMUNIDAD LOCAL
• Alcaldes • Consejo municipal	• Autoridad de transporte público y organismo de ejecución del proyecto ferroviario urbano: responsables de la toma de decisiones, planificadores • Departamento de transporte • Departamento de planificación y desarrollo económico o de vivienda	• Promotores inmobiliarios • Asociaciones empresariales • Grandes empleadores	• Líderes locales • Grupos de interés y de promoción locales: personas con discapacidades, mujeres, vivienda asequible • Público en general

Nota: DOT = desarrollo orientado al transporte público.

actores estratégicos, o los principales obstáculos que podrían impedir que el DOT se implemente con éxito. A lo largo de este proceso, a menudo se vuelve evidente quiénes deben ser los aliados. Los planificadores deben apoyarse en las fortalezas de esos aliados a fin de crear una estrategia general que permita establecer una coalición de apoyo.

Una coalición de apoyo sólida se basa en el respaldo ascendente y descendente. Por ende, los planificadores deben generar confianza y entusiasmo por el proyecto dentro de la comunidad local e identificar un defensor político del proyecto.

Participación de la comunidad local

Desde luego, cualquier tipo de iniciativa de reconversión de comunidades importante debe llevarse a cabo con el aporte y el apoyo de la comunidad local. La mejor práctica para obtener ese apoyo es lograr la participación de la comunidad local desde las primeras etapas y brindar numerosas oportunidades para que compartan sus opiniones sobre el tipo de reconversión que prefieren que se lleve a cabo (véase el capítulo 14). Se ha demostrado que las competencias de diseño y otras actividades de planificación participativa son muy útiles para reunir tanto a los planificadores como a los miembros de la comunidad. Cuando la comunidad comienza a ver sus ideas e inquietudes plasmadas en los planes y las propuestas, se crea confianza en el proyecto. Las iniciativas de planificación participativa también constituyen el espacio ideal para que los planificadores identifiquen a los líderes locales que conocen bien a la comunidad, los cuales pueden estar incluso en mejores condiciones que los representantes del Gobierno para lograr que las personas se pongan de acuerdo sobre ideas y metas compartidas, y los compromisos necesarios.

El defensor político

En el otro lado de este espectro, el defensor político del proyecto debe tener suficiente poder político para ayudar a superar los principales obstáculos encontrados durante la planificación y la ejecución del proyecto; por ejemplo, mediante el establecimiento de presupuestos, el impulso de regulaciones clave o hacer cualquier otra cosa que sea necesaria para concretar un acuerdo. Por lo general, una nueva línea ferroviaria urbana es un proyecto de máxima prioridad, promovido por el alcalde de la ciudad. Sin embargo, la urgencia por finalizar una nueva línea ferroviaria urbana dentro del mandato de un alcalde a menudo implica que se malogren los proyectos complementarios como el DOT. Por ende, este defensor político debe estar respaldado por personal técnico que adopte el DOT como un componente esencial de los proyectos ferroviarios urbanos.

Si bien la mayoría de los proyectos exitosos están motivados por las necesidades de la ciudad, independientemente de los mandatos políticos, los planificadores deben comprender estas dinámicas políticoeconómicas y prepararse para aprovechar la oportunidad de priorizar la implementación del DOT. Los planificadores deben encontrar aliados políticos en los dirigentes de los organismos públicos y representantes del consejo municipal, movilizándolos para que promuevan el proyecto durante la preparación de los planes y la realización de los procedimientos burocráticos. Estos aliados son cruciales para establecer un sentido más amplio de identificación institucional con el proyecto, lo que puede ayudar al proyecto a prevalecer ante los cambios en la dirigencia gubernamental. A tal fin, impulsar la participación de la comunidad local puede ayudar a proteger el proyecto ante posibles cambios en las prioridades del Gobierno. Las votaciones o los referendos y otras formas de apoyo también pueden incentivar a los líderes políticos a involucrarse en el proyecto.

Participación del sector privado

Los planificadores también deben recurrir al sector privado para fortalecer la coalición de apoyo. Por ejemplo, la colaboración de los promotores inmobiliarios, que incluye desde su inversión en proyectos estratégicos hasta sus aportes para el diseño de modelos de negocio innovadores, será fundamental para lograr la reconversión y la (re)densificación a través del DOT. Estas relaciones, si se estructuran cuidadosamente, pueden brindar beneficios considerables al socio privado y, a la vez, estimular nuevas inversiones que generen empleos, infraestructura y otros servicios para la comunidad. Las diferentes asociaciones empresariales, que incluyen desde asociaciones minoristas y comerciales hasta asociaciones de restauración y hostelería, también serán decisivas para formar áreas prósperas de uso mixto que atraigan gente y creen oportunidades de empleo. Es posible que los grandes empleadores de la ciudad también deseen trasladarse a las inmediaciones de las nuevas líneas ferroviarias urbanas y que trabajen junto con los organismos de ejecución del proyecto para catalizar el DOT.

Inclusividad social

Por último, los planificadores deben ampliar la coalición de apoyo, de modo de incluir organizaciones no gubernamentales, grupos específicos de interés y asociaciones locales que garanticen que los planes y las regulaciones del DOT sean inclusivos y equitativos. Por ejemplo, lograr la accesibilidad universal debe convertirse en una prioridad de diseño del DOT. Por ende, los planificadores deben solicitar la orientación de grupos defensores de las personas con discapacidad en lo que respecta al diseño, y establecer un presupuesto para

infraestructura y servicios de transporte que respondan mejor a sus necesidades. Lo mismo sucede con los colectivos de mujeres, cuya orientación puede ayudar a garantizar que se aborden las necesidades especiales de las mujeres en materia de transporte (véase el capítulo 2). Sin embargo, el transporte no es el único ámbito en el que se debe lograr la inclusión. Las nuevas oportunidades de empleo creadas por el DOT también deben ser más equitativas; por ende, los planificadores deben reunir a las asociaciones empresariales y las agrupaciones que defienden a las personas con discapacidad y a las mujeres para analizar cómo generar mejores puestos de trabajo para todos. Por último, es fundamental que el DOT no se convierta en un factor impulsor del desplazamiento y la gentrificación. Los planificadores deben trabajar con la comunidad local, los defensores de la construcción de viviendas asequibles y los promotores inmobiliarios para buscar soluciones que garanticen que las nuevas oportunidades de vivienda sean asequibles para los antiguos residentes de la comunidad.

Conclusiones y recomendaciones

Para aprovechar el verdadero potencial de la inversión en ferrocarriles urbanos que impulse el desarrollo urbano, es importante pensar en accesibilidad, no en movilidad. Por lo general, el objetivo principal de un nuevo proyecto ferroviario urbano es mejorar la movilidad urbana optimizando los servicios de transporte público entre las diferentes zonas de la ciudad. Los proyectos ferroviarios urbanos más innovadores y eficaces se conciben no solo para mejorar los indicadores de movilidad y de rendimiento del sistema de transporte, sino también para transformar los patrones de desarrollo urbano y, por ende, mejorar la accesibilidad, la sostenibilidad, la inclusión social, la pujanza económica y la habitabilidad. Por lo tanto, ello requiere basarse en una perspectiva integrada de transporte, aspectos económicos y uso del suelo que logre un equilibrio en materia de accesibilidad en los tres niveles: regional, local y universal.

Considerar el desarrollo urbano junto con la inversión en infraestructura permite aprovechar al máximo los posibles beneficios de los ferrocarriles urbanos. La mejora de la accesibilidad regional derivada de las inversiones en ferrocarriles urbanos generalmente se manifiesta como un incremento en el valor de las propiedades ubicadas dentro de la zona de influencia de la nueva línea, especialmente en los alrededores de las estaciones. Los beneficios derivados de la mejora de la accesibilidad regional se ven multiplicados por otros factores complementarios, como el crecimiento económico dinámico regional

y local, las políticas que promueven el desarrollo, y las características singulares de la accesibilidad local y del DOT de cada estación. Para sacar el máximo provecho al potencial de los sistemas ferroviarios urbanos, es importante considerar el desarrollo de los terrenos adyacentes a las vías y las estaciones, e implementar los instrumentos adecuados para configurar y aprovechar este nuevo desarrollo. El DOT que genera valor debe 1) crear comunidades compactas y de uso mixto; 2) priorizar los espacios para peatones; 3) reducir las áreas de estacionamiento; 4) fomentar el desarrollo impulsado por la comunidad, y 5) adoptar el *place making*.

Mediante el uso de instrumentos de CVS, el DOT debe considerarse como una forma de obtener financiamiento adicional para las inversiones en ferrocarriles urbanos, y no como un costo adicional. En lugar de representar una carga financiera adicional, la optimización de la integración del transporte, de los aspectos económicos y del uso del suelo a lo largo del trazado de la línea ferroviaria urbana y el impulso del desarrollo o la reconversión basada en conceptos del DOT ofrece una oportunidad al Gobierno para añadir valor a la ciudad y, a su vez, obtener fondos adicionales a partir de la inversión en los ferrocarriles urbanos. Las ciudades pueden utilizar la CVS basada en impuestos o en el desarrollo para financiar y promover un crecimiento urbano más inclusivo y fomentar la pujanza de las áreas de las estaciones de ferrocarril y la sostenibilidad a largo plazo de la inversión en ferrocarriles urbanos.

Para la implementación exitosa del DOT, se necesita una coalición de apoyo sólida y con múltiples partes interesadas. El organismo de ejecución del proyecto deberá trabajar con otros organismos de desarrollo urbano del Gobierno municipal a fin de crear la coalición de apoyo necesaria para implementar el DOT. Esta coalición de apoyo debe contar con el respaldo de los defensores políticos del proyecto y lograr la participación de las comunidades locales en la reconversión de sus propias comunidades. Las partes interesadas del sector privado, incluidos los promotores inmobiliarios y las asociaciones empresariales y comerciales, pueden fortalecer el modelo de negocios del DOT. También es preciso consultar a las organizaciones no gubernamentales y los grupos de defensores para garantizar que los planes de DOT sean inclusivos y equitativos.

Notas

Los autores desean agradecer a Georges Darido por sus contribuciones de contenido, y a los revisores Joanna Moody, Ramiro Alberto Ríos y Gerald Ollivier, del Banco Mundial; Daniel Rodríguez, de la Universidad de California Berkeley, y Juan Antonio Márquez Picón, del Metro de Madrid, por compartir sus conocimientos especializados y sus críticas detalladas durante la elaboración de este capítulo.

1. El caso de Ballston en el condado de Arlington, Virginia, está bien documentado. Esta solía ser una comunidad en transición, con una curiosa mezcla de departamentos de baja densidad, restaurantes de comida rápida, talleres de reparación de automóviles y otros usos marginales del suelo, el desarrollo de la línea naranja hasta Vienna, Virginia, se aceptó como una oportunidad para revitalizar la zona. En la actualidad, Ballston es uno de los lugares más prestigiosos de Virginia del Norte y cuenta con numerosos hoteles, restaurantes y oficinas (TCRP, 2004, 11).
2. En otras investigaciones sobre el DOT, se han determinado enfoques alternativos para comprender los atributos que incrementan la accesibilidad y generan valor. Sin embargo, de una u otra manera, el enfoque de las "5 D" sigue siendo una instrumentación razonable de las variables que caracterizan las dimensiones de accesibilidad y atributos que generan valor. En el Estándar DOT del Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo, se sugieren ocho principios relacionados de DOT: 1) caminar, 2) montar en bicicleta, 3) conectar, 4) circular, 5) combinar, 6) densificar, 7) compactar y 8) cambiar (ITDP, 2017).
3. En Manhattan, por ejemplo, el coeficiente de utilización del suelo es de 24,0 para las zonas muy accesibles en los alrededores de la terminal Grand Central, de 21,6 a lo largo de Park Avenue, y de 14,0 a 18,0 en otras zonas hacia el este y el oeste (New York City Planning Commission, 2013). Seúl y Singapur también utilizan coeficientes de utilización del suelo basados en la proximidad a las estaciones.
4. Para obtener un análisis más profundo de estos obstáculos y las posibles soluciones, véase Suzuki, Cervero e Iuchi (2013).
5. Por ejemplo, las estimaciones del valor del suelo derivado de la extensión de la línea Jubilee del subterráneo de Londres oscilaron entre GBP 300 millones (USD 484 millones) y GBP 2700 millones (USD 4400 millones) (Buck, 2017).

Bibliografía

Alonso, William (1964), *Location and Land Use*, Cambridge, MA: Harvard University Press.

Bertaud, Alain (2014), Cities as Labor Markets, documento de trabajo 2, Instituto Marron para la Gestión Urbana, Universidad de Nueva York, Nueva York, NY.

Bertolini, Luca (1999), "Spatial Development Patterns and Public Transport: The Application of an Analytical Model in the Netherlands", en *Planning Practice and Research* 14 (2): pp. 199-210.

Brattström, Hans y Jan Lindquist (2015), "Regional Planning in the Stockholm Region", presentación durante la visita al Parlamento de la Región de Helsinki-Uusimaa, Estocolmo, 13 de noviembre.

Brueckner, Jan K. (1987), "The Structure of Urban Equilibria: A Unified Treatment of the Muth-Mills Model", en *Handbook of Regional and Urban Economics*, editado por E. S. Mills, pp. 821-45, Ámsterdam: Elsevier.

Buck, Martin (2017), "Crossrail Project: Finance, Funding, and Value Capture for London's Elizabeth Line", documento 1700005, en *Proceedings of the Institution of International Engineers*, https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2017/09/1C-002-Finance-Funding-and-Value-Capture.pdf.

Cervero, Robert (2002), "Built Environments and Mode Choice: Toward a Normative Framework", en *Transportation Research Part D* 7 (4): pp. 265-84.

—— (2006), "Public Transport and Sustainable Urbanism: Global Lessons", presentación en el Consejo Científico de Japón, Tokio, noviembre, www.reconnectingamerica.org/assets/Uploads/UCTC-806.pdf.

Cervero, Robert y Kara Kockelman (1997), "Travel Demand and the 3D's: Density, Diversity, and Design", en *Transportation Research Part D* 2 (3): pp. 119-29.

Debrezion, Ghebreegziabiher, Eric Pels y Piet Rietveld (2007), "The Impact of Railway Stations on Residential and Commercial Property Values: A Meta-Analysis", en *Journal of Real Estate Finance and Economics* 35 (2): pp. 161-80.

Eitler, Thomas W., Edward T. McMahon y Theodore C. Thoerig (2013), *Ten Principles for Building Healthy Places*, Washington, DC: Urban Land Institute. http://uli.org/wp-content/uploads/ULI-Documents/10-Principles-for-Building-Healthy-Places.pdf

Gatzlaff, Dean H. y Marc T. Smith (1993), "The Impact of the Miami Metrorail on the Value of Residences Near Station Location", en *Land Economics* 69 (1): pp. 54-66.

Haas, Peter, Gajus Miknaitis, Harley Cooper, Linda Young y Albert Benedict (2010), *Transit Oriented Development and the Potential for VMT-Related Greenhouse Gas Emissions Growth Reduction*, informe para el Centro para el Desarrollo Orientado al Transporte del Centro de Tecnología Vecinal, Chicago, http://ctod.org/pdfs/2010TODPotentialGHGEmissionsGrowth.pdf.

Higgins, Christopher D. y Pavlos S. Kanaroglou (2016), "Forty Years of Modelling Rapid Transit's Land Value Uplift in North America: Moving beyond the Tip of the Iceberg", en *Transport Reviews* 36 (5): pp. 610-34.

Instituto para la Política de Transporte y Desarrollo (ITDP) (2017), *Estándar DOT* v3.0, Nueva York: ITDP, https://www.itdp.org/tod-standard/.

Li, Qu, Gerald Ollivier, Holly Krambeck y Tatiana Peralta (2016), *Using Travel Time-Based Analysis to Evaluate the Potential Impact of Transit-Oriented Development on Job Accessibility*, Washington, DC: Banco Mundial.

Medda, Francesca (2011), "Land Value Finance: Resources for Public Transport", en *Innovative Land and Property Taxation*, editado por Remy Sietchiping, pp. 42-52, Nairobi, Kenya: ONU-Hábitat.

Mills, Edwin S. (1972), *Studies in the Structure of the Urban Economy*, Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.

Mohammad, Sara I., Daniel J. Graham, Patricia C. Melo y Richard J. Anderson (2013), "A Meta-Analysis of the Impact of Rail Projects on Land and Property Values", en *Transportation Research Part A* 50 (abril): pp. 158-70.

Muth, Richard F. (1969), *Cities and Housing*, Chicago, IL: University of Chicago Press.

New York City Planning Commission (2013), enmienda de la Resolución de Zonificación de la Ciudad de Nueva York, respecto del artículo VIII, sección 1 (Distrito Especial Midtown), Municipio de Manhattan, Distritos Comunitarios 5 y 6, N 130247(A) ZRM. https://www1.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/about/cpc/130247a.pdf

Ollivier, Gerald Paul (2018), *Leveraging the TOD Community of Practice to Transform the Urban Space*. https://collaboration.worldbank.org/content/usergenerated/asi/cloud/attachments/sites/collaboration-for-development/en/groups/tod-cop/documents/jcr:content/content/primary/blog/tod_cop_program_pres-Ecqo/TOD-CoP-Program-Presentation.pdf

Project for Public Spaces (1997), *The Role of Transit in Creating Livable Metropolitan Communities*, informe 22 del Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito, Washington, DC: Junta de Investigación sobre Transporte, Consejo Nacional de Investigación.

—— (2017), *The Power of 10+*, https://www.pps.org/article/the-power-of-10.

Reconnecting America (2009), *Mixed-Income Housing Near Transit: Increasing Affordability with Location Efficiency*, Administración Federal de Transporte, Washington, DC.

Rode, Philipp, Graham Floater, Jens Kandt, Karl Baker, Marina Montero Carrero, Catarina Heeckt, Duncan Smith y Michael Delfs (2013), *Going Green: How Cities Are Leading the Next Economy*, Londres: LSE Cities.

Rodríguez, Daniel A. y C. Erik Vergel-Tovar (2017), "Urban Development around Bus Rapid Transit Stops in Seven Cities in Latin-America", en *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, https://escholarship.org/uc/item/9qt5s3h9.

Salat, Serge y Gerald Ollivier (2017), *Transforming the Urban Space through Transit-Oriented Development: The 3V Approach*, documento de trabajo, Grupo Banco Mundial, Washington, DC, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26405.

Scott, Marcia, Theodore Patterson y Natasha Nau (2013), *Formulating a Framework to Plan for Complete Communities in Delaware*, Instituto de Administración Pública de la Universidad de Delaware, https://udspace.udel.edu/handle/19716/12531

Smart Growth America (2016), *Empty Spaces: Real Parking Needs at Five TODs*, Universidad de Utah, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, https://smartgrowthamerica.org/resources/empty-spaces-real-parking-needs-five-tods/.

Suzuki, Hiroaki, Robert Cervero y Kanako Iuchi (2013), *Transforming Cities with Transit: Transit and Land-Use Integration for Sustainable Urban Development*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12233.

Suzuki, Hiroaki, Jin Murakami, Yu-Hung Hong y Beth Tamayose (2015), "Financing Transit-Oriented Development with Land Values: Adapting Land Value Capture in Developing Countries", en *Urban Development Series*, Washington, DC: Banco Mundial, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21286.

Programa Cooperativo de Investigación de Tránsito (TCRP) (2004), "Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects", informe 102, Washington, DC: Junta de Investigación sobre el Transporte. http://www.trb.org/Publications/Blurbs/154989.aspx

ONU-Hábitat e International City Leaders (2015), *The City Prosperity Initiative: 2015 Global City Report*, ONU-Hábitat, Nairobi; International City Leaders, Toronto, https://cpi.unhabitat.org/sites/default/files/resources/CPI_2015%20Global%20City%20Report._0.pdf

Victoria Transport Policy Institute (2014), "Universal Design", en *TDM Encyclopedia*, Victoria, BC: Victoria Transport Policy Institute, http://www.vtpi.org/tdm/tdm69.htm.

Lecturas adicionales

Cervero, Robert (1996), "Mixed Land Uses and Commuting: Evidence from the American Housing Survey", en *Transportation Research Part A* 30 (5): pp. 361-77.

Cervero, Robert y Jin Murakami (2009), "Rail and Property Development in Hong Kong: Experiences and Extensions", en *Urban Studies* 46 (1): pp. 2019-43.

Duncan, Michael (2011), "The Synergistic Influence of Light Rail Stations and Zoning on Home Prices", en *Environment and Planning A* 43 (9): pp. 2125-42.

Dunphy, Robert T., Robert Cervero, Frederic C. Dock, Maureen McAvey, Douglas R. Porter y Carol J. Swenson (2004), *Developing around Transit: Strategies and Solutions That Work*, Washington, DC: Urban Land Institute.

Smith, Jeffery J. y Thomas A. Gihring (2006), "Financing Transit Systems through Value Capture: An Annotated Bibliography", en *American Journal of Economics and Sociology* 65 (3): pp. 751-86.

Universidad de Delaware (2017), *The Delaware*, http://www.completecommunitiesde.org/introduction.

17 RESILIENCIA A LOS PELIGROS CLIMÁTICOS Y NATURALES EN PROYECTOS FERROVIARIOS URBANOS

Juliet Mian, Matthew Free, Áine Ní Bhreasail
y Savina Carluccio

La infraestructura resiliente es esencial para la seguridad, el bienestar, la sostenibilidad y la prosperidad económica de las ciudades (Banco Mundial, 2012). En este capítulo se presentan orientaciones prácticas de alto nivel para considerar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en los proyectos ferroviarios urbanos, lo que abarca tanto la implementación de nueva infraestructura ferroviaria urbana como la gestión de los sistemas ferroviarios urbanos existentes. La resiliencia debe integrarse respecto de todos los tipos de peligros y en todos los pasos del proceso de desarrollo de proyectos. Por ende, este capítulo no debe leerse en forma aislada del resto del manual; la resiliencia está intrínsecamente vinculada con todos los aspectos del desarrollo de un proyecto ferroviario urbano.

El concepto de resiliencia no debe limitarse a los peligros específicos relacionados con el clima y otros peligros naturales, sino que debe abarcar la capacidad de los sistemas ferroviarios urbanos y las ciudades en que estos operan para prepararse, planificar, absorber,

Fotografía: Trabajadores quitan la nieve de las vías en Brooklyn (Nueva York) tras una tormenta de nieve, 2016.
Fuente: Autoridad Metropolitana del Transporte a través de Flickr (CC BY 2.0).

recuperarse o adaptarse con respecto a cualquier acontecimiento adverso —la manifestación de un peligro con el potencial de causar pérdidas (sociales, económicas o físicas)— durante la vida operativa del sistema (Academia Nacional de Ciencias, 2012). En numerosos casos, las medidas para aumentar la resiliencia se aplican a distintos peligros, tanto previstos como imprevistos[1]. Por ejemplo, si bien muchas causas naturales y generadas por el hombre pueden ocasionar importantes interrupciones de los servicios, las medidas físicas y de organización para reducir la gravedad de los impactos no siempre se orientan específicamente al peligro inicial.

En este capítulo se hace hincapié en la comprensión plena de los peligros climáticos y naturales y el desempeño del sistema y su infraestructura, y en la aplicación de medidas para evitar que los incidentes se conviertan en desastres. Para lograrlo, es preciso reconocer que los sistemas ferroviarios urbanos son solo un componente de un esquema de transporte más amplio dentro de un sistema de sistemas urbanos que incluye interdependencias entre todos los sistemas de infraestructura y la sociedad a la que respaldan.

Reparar y reconstruir la infraestructura dañada después de que se produce un evento (enfoque *reactivo*) tiene un costo de oportunidad alto —el valor que se pierde una vez que se elige una línea de acción determinada— en comparación con la inversión proactiva en la resiliencia (por ejemplo, a través de medidas de mantenimiento, planificación de respuestas o mejoras físicas)[2]. Este costo de oportunidad es aún mayor en los países de ingreso bajo y medio, donde los costos de reparación tras un evento pueden reducir la cantidad de fondos disponibles para otras obras de infraestructura que se necesita con urgencia. Asimismo, las pérdidas debidas a peligros climáticos y naturales de gran magnitud tienen un impacto proporcionalmente más alto, tanto en la prosperidad económica nacional como en las comunidades afectadas, en los países de ingreso bajo y medio que en los países de ingreso alto (Schweikert y otros, 2014). Por este motivo, se debe dar mayor prioridad a la inversión en la resiliencia de la infraestructura en los países de ingreso bajo y medio.

La orientación que se brinda en este capítulo es importante para los responsables de la toma de decisiones y los especialistas de diversas disciplinas, entre los que se incluyen ingenieros locales e internacionales, especialistas en planificación urbana y operadores de transporte público y privado. El objetivo de esta orientación es respaldar la toma de decisiones, desde la etapa de conceptualización hasta la de operación y mantenimiento (O&M) del proyecto, a fin de mejorar la resiliencia del sistema. En este capítulo se sigue el proceso de desarrollo del proyecto que se describe en el capítulo 1 (véase el cuadro 17.1). Muchos de los ejemplos de mejores prácticas y medidas propuestas (aunque no todos) corresponden a países de ingreso alto como Japón y los Estados Unidos, pero también son pertinentes en el contexto de los países de ingreso bajo y medio.

CUADRO 17.1. Acciones clave para garantizar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales durante todo el proceso de desarrollo del proyecto

Planificación del sistema y del corredor	Diseño preliminar y detallado	Adquisiciones y financiamiento	Construcción	Operación y mantenimiento
• Adoptar un enfoque sistemático de planificación urbana (incluida la selección del emplazamiento y la evaluación económica) • Seleccionar una estrategia de resiliencia y las medidas pertinentes • Evaluar los peligros climáticos y naturales • Completar las evaluaciones de la vulnerabilidad y la importancia crítica	• Establecer los requisitos de desempeño y las normas de diseño del sistema ferroviario urbano • Elaborar la estrategia de resiliencia • Diseñar las medidas de resiliencia física • Aprovechar e incorporar las nuevas tecnologías, evitando introducir vulnerabilidades	• Tener debidamente en cuenta los beneficios generales y a largo plazo de la resiliencia • Seleccionar el método más adecuado para que la resiliencia tenga un valor proporcional a la complejidad del proyecto • Asignar los riesgos y responsabilidades vinculados con la resiliencia a través de contratos basados en el desempeño	• Construir sistemas técnicamente resilientes • Utilizar materiales resistentes • Considerar la preparación para los fenómenos que puedan ocurrir durante la construcción	• Implementar una sólida gestión de activos y un mantenimiento oportuno • Activar sistemas de alerta temprana • Garantizar la preparación operativa y la respuesta y la recuperación ante situaciones de emergencia
Fortalecimiento y coordinación de la capacidad institucional				

Cómo afectan los peligros climáticos y naturales a los sistemas ferroviarios urbanos

Los peligros naturales son fenómenos físicos que se producen naturalmente a causa de acontecimientos de rápida irrupción o de evolución lenta[3], y pueden clasificarse, en general, como geofísicos, hidrológicos, climatológicos y meteorológicos (véase el cuadro 17.2)[4]. Los peligros incluidos en cada una de estas categorías y su impacto en el transporte ferroviario urbano se describen con mayor detalle en los cuadros 17A.1 a 17A.4, en el anexo de este capítulo. Resulta especialmente útil distinguir los peligros geofísicos de los demás tipos de peligros. Los otros peligros se atribuyen y se atribuirán cada vez más al cambio climático; por lo tanto, tienen un componente temporal y se ven afectados por las actividades humanas.

Un peligro natural se convertirá en un desastre si su manifestación perturba gravemente el funcionamiento de una comunidad o sociedad y causa pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales que superan la capacidad de la comunidad o sociedad de hacer frente a la situación con sus propios recursos.

Impacto de los peligros climáticos y naturales en la infraestructura ferroviaria física

Los peligros primarios de cualquier clase pueden afectar directamente a los sistemas ferroviarios urbanos o bien generar peligros secundarios que pueden

CUADRO 17.2. Tipos de peligros climáticos y naturales que afectan los sistemas ferroviarios urbanos y sus peligros secundarios

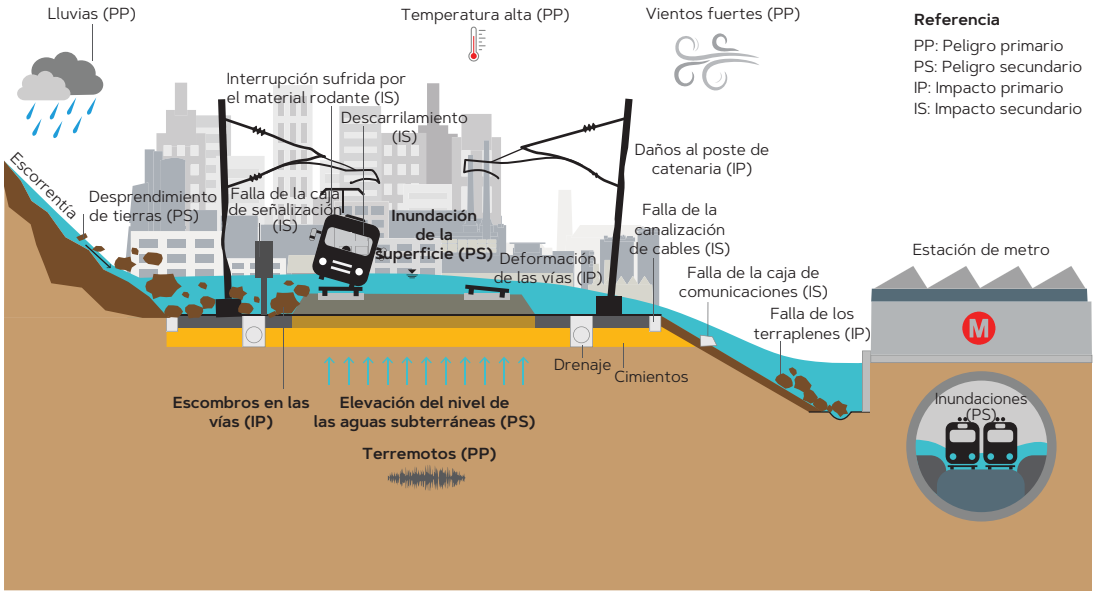
CATEGORÍA DE PELIGRO	PELIGRO PRIMARIO	PELIGROS SECUNDARIOS
Geofísicos	Terremotos	Temblor de tierra, desprendimiento de tierras, licuefacción, ruptura de fallas en la superficie
	Desprendimientos de tierras	Movimiento masivo
	Volcanes	Caída de cenizas; corrientes piroclásticas y de lava; gases peligrosos
	Tsunamis	Inundaciones costeras, erosión y socavación, fuerzas de impacto del agua y los escombros
	Hoyos	Apertura de huecos
Hidrológicos	Aumento del nivel del mar	Inundaciones costeras
	Inundaciones repentinas	Agua estancada, escorrentía superficial, inundaciones fluviales, elevación del nivel de las aguas subterráneas
Climatológicos	Sequías	Reducción de la humedad del suelo, pérdida de vegetación
	Incendios forestales	Llamas, humo, escombros en las vías, pérdida de vegetación
Meteorológicos	Marejadas meteorológicas	Acción de las olas, inundaciones costeras
	Lluvias intensas	Lluvia, escorrentía superficial, elevación del nivel de las aguas subterráneas, crecidas de los ríos, inundaciones
	Tormentas eléctricas	Rayos
	Vendavales	Vientos fuertes
	Nieve, hielo, temperatura baja	Nieve y hielo, acción de los ciclos de helada y deshielo
	Temperatura alta	Temperaturas superiores y más olas de calor, expansión térmica de los rieles
	Clima espacial, tormentas solares	Campos magnéticos fuertes que generan sobrecargas eléctricas e interferencias radioeléctricas

causar daños (véase el gráfico 17.1). Esta complejidad se ve acrecentada por el hecho de que incluso un solo peligro puede afectar varios componentes de un sistema ferroviario complejo (infraestructura, material rodante y sistemas) al mismo tiempo.

Los impactos físicos directos deben considerarse en relación con sus efectos en la funcionalidad de un sistema ferroviario urbano y del sistema general de la ciudad (véase el recuadro 17.1). Estos impactos pueden clasificarse de la siguiente forma (Xia y otros, 2013):

1. *Impactos en la seguridad.* Daños físicos a los componentes del sistema (desde daños menores hasta la destrucción) que puedan provocar accidentes de trenes o daños a los edificios y la infraestructura.
2. *Impactos en los servicios.* Interrupciones breves de los servicios (restricciones de velocidad, cancelaciones a corto plazo, cierres de vías a más largo plazo) debido a la presencia de nieve, viento, lluvias intensas o aguas estancadas provenientes de inundaciones, por ejemplo, cuando la funcionalidad puede restablecerse rápidamente una vez que el peligro ha pasado.

GRÁFICO 17.1. Los peligros primarios pueden afectar los sistemas ferroviarios urbanos o desencadenar peligros secundarios



Fuente: Creado por Arup, Londres (Reino Unido) para el Banco Mundial.

RECUADRO 17.1.

Respuesta a la supertormenta Sandy: Ciudad de Nueva York

En 2012, la supertormenta Sandy causó daños de consideración a los sistemas ferroviarios urbanos de Nueva Jersey y Nueva York; numerosas estaciones de trenes se inundaron y varios túneles, locomotoras, vagones y sistemas de señalización sufrieron daños graves. Se han implementado algunas medidas de adaptación[a] al cambio

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 17.1.

Respuesta a la supertormenta Sandy: Ciudad de Nueva York *(Continuación)*

climático, por ejemplo, se elevó la infraestructura y se formaron marismas a lo largo de la costa para limitar los impactos de las inundaciones. Sin embargo, estas medidas no fueron suficientes en el contexto del cambio climático. En reconocimiento de que los futuros planes de adaptación y mitigación no pueden basarse solamente en los registros climáticos del pasado, las instituciones públicas de Nueva York están reconsiderando las normas para las inversiones futuras. La Autoridad Metropolitana de Transporte (MTA) creó el Equipo de Trabajo para la Adaptación al Clima, que fortalece la resiliencia a través de intervenciones que incluyen la reparación y el sellado de túneles, el sellado de respiraderos y puertas de estaciones durante las tormentas, y el sellado de las salas y los equipos de comunicación de señales en las estaciones vulnerables (MTA, 2017) (véanse las imágenes B17.1.1 y B17.1.2).

IMAGEN B17.1.1. Medidas temporales de mitigación de inundaciones en una estación del metro de Nueva York durante la supertormenta Sandy en 2012

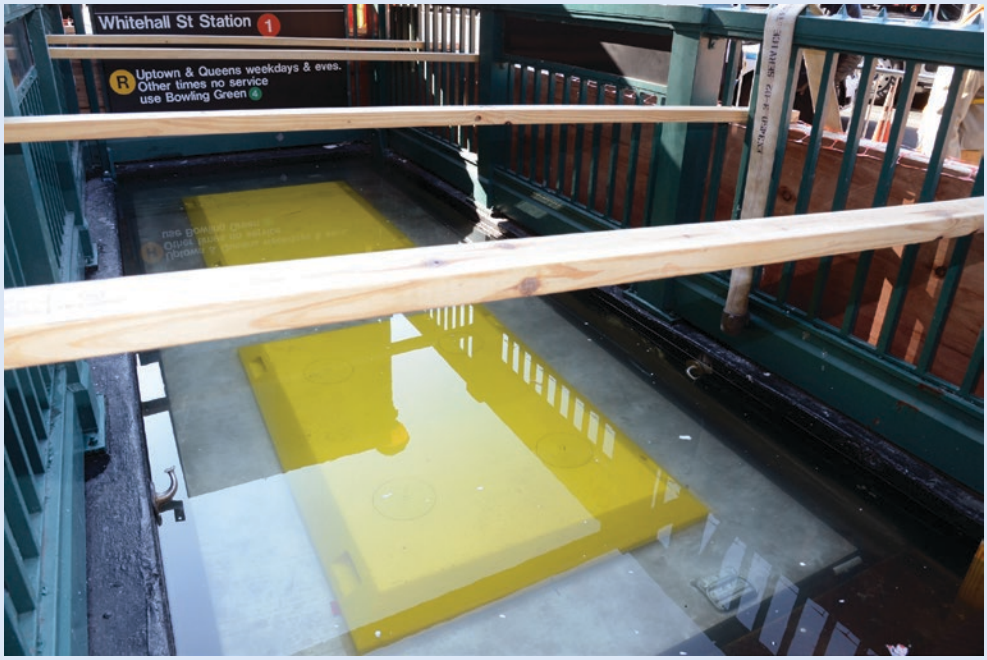
Fuente: © Yaacov Dagan, Alamy. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 17.1.

Respuesta a la supertormenta Sandy: Ciudad de Nueva York *(Continuación)*

IMAGEN B17.1.2. Cubierta extraíble para control de inundaciones en las escaleras del metro en la estación Whitehall St. en Nueva York en 2013



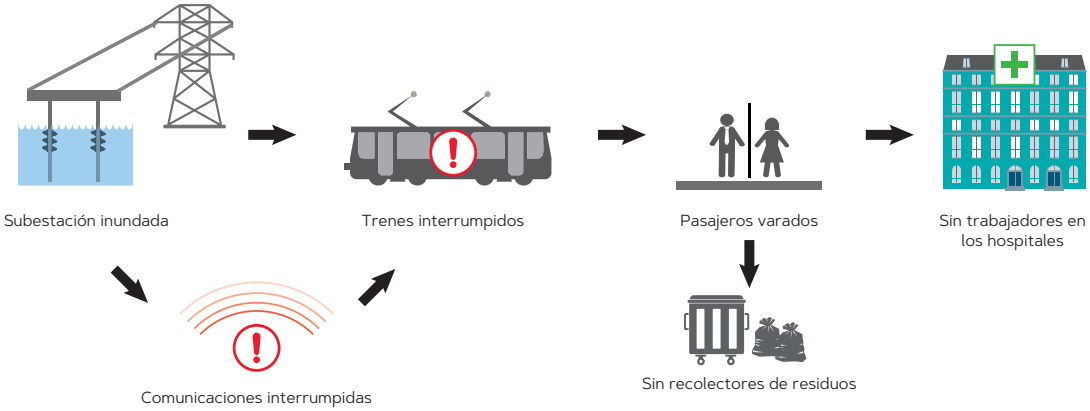
Fuentes: Ríos y otros (2017); Autoridad Metropolitana de Transporte del Estado de Nueva York a través de Wikimedia Commons.
a. La resiliencia frente a los desastres naturales y riesgos vinculados al cambio climático se refiere a las acciones que se llevan a cabo para reducir las consecuencias adversas del cambio climático (por ejemplo, las temperaturas más altas generan una mayor frecuencia de deformación de los rieles) y para aprovechar las oportunidades beneficiosas. Esto difiere del concepto de "mitigación", que se refiere a la adopción de medidas destinadas a prevenir el avance del cambio climático y sus impactos.

Algunos ejemplos de estos impactos directos de los numerosos peligros primarios a los que se enfrentan los sistemas ferroviarios urbanos se presentan en los cuadros 17A.1 a 17A.4, en el anexo de este capítulo.

Reconocer la posibilidad de que se produzcan fallas en cascada

Los sistemas de infraestructura urbana son complejos y muy interdependientes, por lo que no pueden considerarse en forma aislada. La operación del transporte ferroviario urbano, en particular, depende de otros sistemas urbanos,

GRÁFICO 17.2. Ejemplos de sistemas interdependientes de infraestructuras urbanas que causan fallas en cascada



Fuente: Creado por Arup, Londres (Reino Unido) para el Banco Mundial.

como la electricidad y las telecomunicaciones. En consecuencia, los daños causados a estos otros sistemas pueden afectar la operación del transporte ferroviario urbano (véase el gráfico 17.2). Por ejemplo, durante el paso de la supertormenta Sandy en 2012, los grandes daños ocasionados a la red eléctrica del área metropolitana de la ciudad de Nueva York afectaron el sistema informático que controlaba el movimiento de los trenes, lo que incidió en las salidas, las rutas y la operación.

Habida cuenta de la dependencia de los sistemas ferroviarios de otros sistemas de infraestructura urbana, es preciso elaborar planes integrados que mejoren la conectividad de los servicios públicos, optimicen las comunicaciones entre servicios públicos y otros sistemas más allá de los límites de organismos y sectores, reduzcan el riesgo de fallas en cascada que podrían interrumpir servicios esenciales y, en definitiva, mejoren la resiliencia de la infraestructura.

Además de afectar los componentes físicos y de organización de los sistemas ferroviarios, el cambio climático a largo plazo también puede afectar los valores demográficos locales y nacionales (por ejemplo, cambios en las modalidades de trabajo) y, por ende, la demanda de transporte (Leichenko y otros, 2010). Las interdependencias entre los sistemas técnicos y las personas que los operan y utilizan (lo que generalmente se denomina "sistema sociotécnico") son sumamente importantes para las decisiones relativas a la resiliencia del sistema.

Previsión o pronóstico de peligros climáticos y naturales

La resiliencia de un sistema ferroviario urbano se basa en la capacidad de prever los diferentes peligros naturales y, por ende, de prepararse para enfrentarlos. Los métodos de previsión, cuando están disponibles, pueden proporcionar cierto grado de alerta temprana sobre cuándo se prevé que ocurrirá un peligro en determinado momento y lugar, junto con la magnitud prevista de dicho peligro. No todos los peligros pueden preverse con fiabilidad. Los responsables de la planificación y la toma de decisiones en el marco de los proyectos ferroviarios urbanos deben comprender la diferencia entre los peligros que pueden preverse y, por ende, es posible prepararse para enfrentarlos a través de la planificación operativa a corto plazo (por ejemplo, vendavales) y aquellos para los cuales no existen métodos seguros de previsión (por ejemplo, terremotos e inundaciones repentinas).

Los métodos de evaluación o previsión de peligros naturales o climáticos no son específicos de los sistemas ferroviarios urbanos, sino que son los mismos que se utilizan para cualquier sistema de infraestructura urbana distribuida que enfrenta peligros similares (véanse los cuadros A17.1 a A17.4 en el anexo del capítulo). Los siguientes aspectos son especialmente importantes para el transporte ferroviario urbano:

- Los operadores de transporte ferroviario urbano deben establecer y utilizar servicios adaptados de previsiones meteorológicas, con un nivel de especificidad (tanto espacial como temporal) que cumpla con sus requisitos específicos. Esto se examina en mayor detalle en la sección de este capítulo que trata sobre la incorporación de la resiliencia en la operación y el mantenimiento.
- Existen instrumentos complejos para elaborar modelos hidrológicos e hidráulicos de inundaciones, y la elaboración de tales modelos (realizada por especialistas con experiencia) es fundamental durante el diseño detallado de un proyecto ferroviario urbano.
- En la planificación y el diseño, no solo debe considerarse el posible impacto de las inundaciones, sino también el posible impacto del proyecto (por ejemplo, la elevación de los terraplenes y el aumento de la infraestructura "gris" impermeable) en los patrones de inundaciones locales. Estos modelos deberían permitir considerar los impactos del cambio climático a nivel regional o nacional.
- Los mapas regionales de riesgo sísmico deben estar respaldados por análisis probabilísticos de riesgo sísmico (APRS) específicos del emplazamiento o de

la ruta, que incluyan el estudio de las posibilidades de licuefacción del suelo, desprendimientos de tierras inducidos por terremotos y deformación permanente del terreno, todos factores importantes que deben tenerse en cuenta al diseñar el sistema. Es posible que estos APRS detallados quizás no sean una práctica común para los organismos de ejecución de proyectos en los países de ingreso bajo y medio, pero la falta de capacidad interna puede suplirse con expertos externos.

- A los efectos de los sistemas ferroviarios urbanos, en la evaluación de los peligros de desprendimiento de tierras deben tenerse en cuenta la geometría específica del emplazamiento, las condiciones del terreno y las aguas subterráneas, los parámetros geotécnicos y las cargas de diseño aplicables. Es necesario entender la correlación entre los peligros de desprendimiento de tierras y los fenómenos extremos de precipitaciones para implementar medidas de respuesta operacional (Instituto de Investigación Técnica Ferroviaria, 2015).

La herramienta ThinkHazard! del Banco Mundial es un recurso que brinda información sobre riesgos y peligros naturales[5].

Cómo abordar la incertidumbre

La incertidumbre generalmente se clasifica como "incertidumbre epistémica", que se debe a la falta de conocimientos y puede reducirse recopilando más información[6], e "incertidumbre aleatoria", que se relaciona con la variabilidad o aleatoriedad intrínseca que no puede reducirse. Los riesgos vinculados con estas incertidumbres pueden gestionarse de diferentes maneras. Un enfoque posible es la toma de decisiones en condiciones de "gran incertidumbre" (que se define como una situación que los analistas simplemente desconocen o sobre la cual no pueden ponerse de acuerdo) (Banco Mundial, 2012). Otro método sólido para abordar el cambio climático y otras incertidumbres con respecto a un sistema de infraestructura es adoptar un enfoque de adaptación hacia el logro de la resiliencia a largo plazo, lo que implica tomar decisiones a lo largo del tiempo que permitan adaptarse a los cambios (Lyons y Davidson, 2016).

Los criterios de diseño de los sistemas ferroviarios urbanos generalmente se basan en un "período de retorno del fenómeno" (el intervalo de tiempo medio entre fenómenos de tamaño e intensidad similares). Sin embargo, este concepto puede ser difícil de comprender para las partes interesadas no técnicas, por lo que el significado de todas las mediciones debe comunicarse adecuadamente a todas las partes interesadas, incluidos los usuarios finales. Para los usuarios finales, que desean comprender el nivel de servicio que pueden esperar de la modalidad y la ruta que han elegido, la probabilidad (anual) de

que se produzca un fenómeno puede ser un indicador más adecuado que el período de retorno de un fenómeno. Los períodos de retorno o las probabilidades de que se produzcan los peligros naturales generalmente se calculan sobre la base de modelos estadísticos de registros observados. Sin embargo, en el contexto del cambio climático, la dinámica del tiempo plantea un desafío para lograr la resiliencia. Dado que la frecuencia de los fenómenos climáticos futuros aumenta, no es posible realizar estimaciones fiables de los peligros basándose únicamente en los registros observados o históricos. Por lo tanto, la solidez de las decisiones sobre el diseño respecto del riesgo y la incertidumbre debe equilibrarse cuidadosamente con el costo de las medidas de resiliencia y mitigación (véase el recuadro 17.2).

Enseñanzas extraídas de los fenómenos históricos

Si bien el clima del pasado no es necesariamente representativo del clima del futuro, los organismos de ejecución de proyectos y los operadores de transporte ferroviario urbano pueden aprender de los fenómenos anteriores acerca de los posibles impactos de los peligros climáticos y naturales en los sistemas ferroviarios. Los registros meteorológicos observados, por ejemplo, pueden analizarse en combinación con registros históricos de fallas de los equipos o con la distribución de inundaciones para identificar correlaciones. En las ciudades de países de ingreso bajo y medio, es posible que no haya registros formales de los peligros climáticos y naturales de la región; sin embargo, se puede recurrir a la prensa y otras fuentes informales para generar un panorama más completo de

RECUADRO 17.2.

Medidas de mitigación de inundaciones: Bangkok (Tailandia)

En 2011, Tailandia se vio azotada por fuertes monzones que afectaron a 14 millones de personas y causaron más de 800 muertes. Pese a las inundaciones, los servicios del metro urbano y del tren elevado Skytrain de Bangkok continuaron habilitados durante los monzones (véase la imagen B17.2.1). Esta resiliencia del metro de Bangkok se atribuye a aspectos del diseño del sistema, por ejemplo, la ubicación de las entradas de las estaciones a 1,2 metros por encima del nivel de la calle.

Sin embargo, el impacto de las inundaciones de 2011 —incluidas la pérdida de vidas humanas, las pérdidas directas por un valor estimado de USD 45 000 millones y la interrupción de la actividad económica en la región— es un importante recordatorio de que la resiliencia debe considerarse dentro del contexto urbano general (UNISDR, 2012).

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 17.2.

Medidas de mitigación de inundaciones: Bangkok (Tailandia) *(Continuación)*

IMAGEN B17.2.1. Vías de Skytrain elevadas por encima de los niveles de las inundaciones causadas por los monzones, Bangkok (Tailandia)

Fuente: © Shutterstock. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

los fenómenos históricos. Por ejemplo, el Instituto Geológico de São Paulo (Brasil) realizó dicha actividad y compiló datos sobre desastres correspondientes a 21 años de fuentes no tradicionales (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2014).

Un examen de los fenómenos históricos puede ayudar a comprender la relación entre los peligros y el desempeño de la infraestructura, en especial, de la infraestructura existente[7], que posiblemente no haya sido diseñada para las cargas actuales o futuras (Banco Mundial, 2012). Un examen detenido del

desempeño de los sistemas de la infraestructura durante la manifestación de los peligros puede ofrecer enseñanzas que pueden incorporarse en el diseño y en la gestión y mantenimiento de activos de la infraestructura. En el caso de las regiones metropolitanas que implementan su primera línea ferroviaria urbana, la experiencia regional e internacional (especialmente la de los operadores de transporte ferroviario urbano) sobre el impacto de diferentes tipos de peligros puede examinarse y modificarse según corresponda para el contexto local.

Evaluación de riesgos

En el capítulo 7 de este manual se analiza la gestión de riesgos en proyectos ferroviarios urbanos y se ofrece terminología y orientaciones esenciales. La evaluación adecuada del riesgo es fundamental para gestionar eficazmente los sistemas ferroviarios urbanos en un contexto de incertidumbre. Conocer los riesgos que presentan los peligros climáticos y naturales conocidos puede servir como base para priorizar los esfuerzos y los fondos para las partes más importantes del sistema, con lo que se aumentará la resiliencia del sistema en general y, a la vez, se reconocerán las incertidumbres y los recursos limitados.

Si bien la evaluación y la planificación de la resiliencia se basan en el análisis y la mitigación de riesgos relacionados con los peligros conocidos, también deben tener en cuenta la posibilidad de que ocurran fenómenos extremos imprevistos y adoptar medidas que permitan abordar los riesgos residuales y facilitar la recuperación rápida luego de tales fenómenos. Considerar la importancia crítica de los componentes de un sistema, tanto físicos como de organización, puede ayudar a identificar las medidas que aumentarán la resiliencia a todos los peligros.

El valor de la resiliencia

Habida cuenta de la incertidumbre que conlleva la evaluación de los peligros naturales y el cambio climático y la variedad de medidas de resiliencia disponibles (y sus diferentes grados de eficacia), demostrar el valor de la resiliencia a los responsables de la toma de decisiones no es simple. Muchos de los beneficios se vislumbran para un futuro lejano, inciden en una amplia gama de personas, no son financieros y se presentan en forma de pérdidas evitadas (en lugar de ganancias u otros beneficios tangibles). El desempeño de un sistema ferroviario urbano cumple una función preponderante en otros sectores de la economía y en la sociedad en general al conectar a las personas con el trabajo, la educación, la atención médica y otras oportunidades sociales, en particular, inmediatamente después de un evento adverso.

Para cualquier activo o sistema de infraestructura, el valor del aumento de la resiliencia es mucho mayor que el mero hecho de evitar los costos de reemplazar los activos dañados y reducir los ingresos perdidos durante el período en que el activo está fuera de uso. También incluye lo siguiente:

- el efecto de los servicios más confiables en los lugares de trabajo y las escuelas locales (por ejemplo, evitar la pérdida de horas de trabajo y los beneficios de permitir que las personas accedan a las oportunidades de educación);
- la disminución de los riesgos relacionados con la salud y la seguridad, por ejemplo, la pérdida del bienestar que sufren las personas y las familias como resultado de la pérdida de ingresos a largo plazo;
- la reducción de los impactos en propiedades y bienes cercanos;
- los impactos evitados en el medio ambiente local, incluidos los ecosistemas.

Desde luego, estos beneficios deben contrastarse con los costos de la adaptación, que pueden ser considerables. Leichenko y otros (2010) determinaron que el sector del transporte sufría los impactos más graves del cambio climático, como también los costos de adaptación más elevados, entre los sectores de infraestructura que estudiaron en el estado de Nueva York. La Junta de Normas y Seguridad Ferroviaria (RSSB) del Reino Unido (2016) también determinó que los beneficios para la sociedad por la mejora del sistema de protección en caso de inundaciones de una línea ferroviaria amenazada por el cambio climático superaban ampliamente el costo de reconstrucción y que los beneficios financieros para el operador de transporte ferroviario representaban solo una pequeña parte de los beneficios generales para la sociedad (véase el recuadro 17.3). Estos factores deben tenerse en cuenta en las evaluaciones económicas.

Los Gobiernos y las organizaciones pueden calcular el valor aproximado del aumento de la resiliencia de distintas maneras y, sobre esa base, clasificar sus opciones de inversiones. Si bien los métodos de evaluación económica en general se analizan en el capítulo 3 de este manual, podría utilizarse una variación especial del análisis costo-beneficio (ACB) para justificar la inversión en medidas de resiliencia: el análisis de las opciones reales (AOR). El AOR permite evaluar las opciones (o la flexibilidad) creadas por una línea de acción específica (El Tesoro de Su Majestad, 2013). El valor de las opciones reales creadas se evalúa asignando una probabilidad a cada escenario, a partir de la mejor información que se pueda obtener en el momento y realizando una serie de ACB. El ACB de la estrategia de inversión a lo largo del tiempo se pondera de acuerdo con los posibles futuros. En el ámbito de la resiliencia frente a los

RECUADRO 17.3.

El valor de la resiliencia: Cowley Bridge Junction (Reino Unido)

Cowley Bridge Junction es una intersección de líneas ferroviarias de mucho tráfico ubicada en el oeste de Inglaterra. Está situada junto al río Exe y sus históricas alcantarillas, que son propensas a inundarse en caso de lluvias fuertes y persistentes. Cuando se producen inundaciones, el agua puede rebasar el terraplén del ferrocarril y entrar en contacto con los interruptores y armarios eléctricos, lo que ocasiona fallas del sistema eléctrico. El agua también desestabiliza el balasto, lo que generalmente da lugar al cierre de la línea durante varios días después de que las aguas se han retirado. Estos fenómenos ocasionan costos relacionados con el reemplazo, la renovación, la compensación y la interrupción del servicio de transporte de pasajeros y mercancías. Dado el costo a largo plazo de estos fenómenos, se propusieron nuevas inversiones en resiliencia, que incluyeron la ampliación de las alcantarillas para combatir las inundaciones, la instalación de vías en placa de hormigón y la construcción de un muro de protección (véase la imagen B17.3.1).

En 2016, la Junta de Normas y Seguridad Ferroviaria (RSSB) del Reino Unido realizó un estudio de caso del valor general de estas modificaciones propuestas como parte de su programa *Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation* (TRaCCA). En el estudio de la RSSB, se señaló que, debido al cambio climático, las inundaciones que ocurrían 1 vez cada 10 años en Cowley Bridge Junction a mediados del decenio de 2010 probablemente ocurrirían 1 vez cada 7,6 años a mediados del decenio de 2080. Simplemente al mirar hacia el futuro y no hacia el pasado, y al tener en cuenta el aumento de la frecuencia de los peligros, el análisis indicó que los beneficios netos de invertir en resiliencia pueden incrementarse en un 20 %. Asimismo, se determinó que los impactos sociales del aumento de la resiliencia en los tiempos de viaje de los usuarios, junto con los mayores impactos económicos, superan considerablemente los costos financieros iniciales del operador de la infraestructura. Al incluir los mayores beneficios, el coeficiente beneficios-costos aumentó de 1.6:1 a 6:1, y el período de amortización se redujo de 13 a 5 años.

La conclusión general es que, si se tienen debidamente en cuenta los innumerables beneficios a largo plazo de la resiliencia, probablemente se generen muchos más casos de inversiones positivos y una asignación más eficaz de los escasos recursos (públicos). Dado que la resiliencia se valora mejor en la evaluación inicial y la elaboración del proyecto, también puede haber otras consecuencias; por ejemplo, los proyectos que reciben fondos de un presupuesto determinado podrían pasar de ser los que ofrecen la rentabilidad financiera más alta a los que tienen un mayor impacto económico en la comunidad en general.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 17.3.

El valor de la resiliencia: Cowley Bridge Junction (Reino Unido)

(Continuación)

IMAGEN B17.3.1. Ingenieros de ferrocarriles y personal de los servicios de bomberos y rescate controlan las presas inflables que protegen las vías en Cowley Bridge Junction

Fuente: © Ben Birchall/PA Archive/PA Images. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

Fuente: Adaptado de RSSB (2016).

desastres naturales y riesgos vinculados al cambio climático, esto quizá sea especialmente útil, ya que puede promover la inversión en etapas durante varios años, a medida que se conoce más sobre los impactos (véase también el capítulo 6). Al someter el plan de inversión a un AOR, se puede comparar el valor de una inversión temprana de carácter preventivo con un enfoque de "esperar y ver", lo que puede promover la legitimación de las opciones "sin efectos negativos/con pocos efectos negativos".

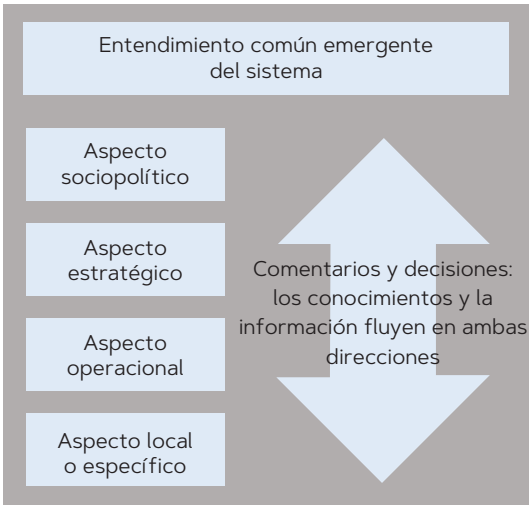
Los responsables de la toma de decisiones que necesiten comprender el valor que las medidas de resiliencia agregarán a un proyecto ferroviario urbano pueden considerar el uso de técnicas más simples, como el análisis multicriterio, para las iniciativas de menor costo y menor impacto. Armstrong, Hood y Preston (2017) presentan un marco para evaluar los riesgos de los sistemas ferroviarios vinculados con el cambio climático y priorizar las medidas correctivas en función de los beneficios y costos. En el caso de los megaproyectos multigeneracionales complejos, costosos y de varias etapas con los que se procura aumentar la resiliencia, como el desarrollo a gran escala de sistemas ferroviarios urbanos, es preciso realizar un ACB completo y un AOR. Estas consideraciones deben incluirse como parte de la evaluación económica general que se describe en el capítulo 3.

Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en las instituciones de transporte ferroviario urbano

Para incorporar la resiliencia en los sistemas ferroviarios urbanos, en primer lugar se debe evaluar la capacidad actual de las instituciones de transporte ferroviario urbano en términos de resiliencia a los peligros y al cambio climático. Esta evaluación puede hacerse mediante un análisis de la madurez, que permite identificar las áreas prioritarias para el fortalecimiento de la capacidad. Según el proceso 55000 de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO)[8], la madurez se evalúa en una escala de niveles de madurez de seis puntos: de 1 (inocente) a 6 (excelente). El método de diagnóstico y desarrollo de la capacidad en relación con el clima (DDC), muy utilizado en las evaluaciones de riesgos en materia de infraestructura y cambio climático, incluye análisis generales y exhaustivos para estudiar las deficiencias y priorizar las medidas. Las organizaciones pueden utilizar la evaluación DDC para identificar las áreas en las que deben fortalecer la capacidad institucional. El Banco Mundial también hace hincapié en la importancia del fortalecimiento de la capacidad en todos los sectores y ofrece diversos recursos relacionados con el desarrollo de la capacidad[9].

En el gráfico 17.3, se muestra la jerarquía institucional de las instituciones ferroviarias del Proyecto Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation (TRaCCA) (RSSB, 2016). Las partes superiores de la estructura institucional autorizan a las partes inferiores a actuar; las partes inferiores brindan información a las superiores. En una estructura institucional de un sistema ferroviario urbano, la estrategia necesita una orientación política, la operación no puede ejecutarse sin una estrategia, y las respuestas locales se producen dentro de un marco operacional que permite actuar (véase también el capítulo 12). Por lo tanto, en cada nivel se necesita un grado adecuado de capacidad

GRÁFICO 17.3. Jerarquía institucional de las instituciones ferroviarias



Fuente: Adaptado de RSSB (2016).

—competencia, aptitudes y conocimiento de las necesidades en materia de resiliencia— que sea pertinente a dicho nivel. A nivel político y estratégico, las organizaciones deben considerar perspectivas para toda la ciudad con horizontes temporales de 30 años o más; a nivel operacional y local, son más adecuados los horizontes temporales diarios o semanales a escalas menores de un kilómetro. Como ejemplo concreto, un gestor estratégico no necesita conocer los detalles de un sistema de vigilancia sísmica, pero el encargado de mantenimiento local sí debe conocerlos.

Se puede aplicar el pensamiento "de sistema" para identificar las actividades de fortalecimiento de la capacidad y determinar su alcance. Se puede crear un mapa de sistema de sistemas ferroviarios para mostrar las interdependencias esenciales entre las instituciones ferroviarias y las organizaciones externas (por ejemplo, los proveedores de servicios de energía y comunicaciones) y para identificar una amplia gama de partes interesadas, que luego pueden priorizarse. En el proceso de determinación de las partes interesadas institucionales aparecen los ministerios, las autoridades de respuesta ante situaciones de emergencias y los departamentos de policía y de bomberos. También pueden incluirse otras instituciones nacionales o subnacionales, por ejemplo, organismos de servicios hidrometeorológicos, consultores y proveedores de servicios meteorológicos.

La capacidad institucional puede verse obstaculizada por la incapacidad de la cadena de suministro para entregar piezas de repuesto, reconstruir la infraestructura dañada o prestar servicios de comunicaciones confiables. Las instituciones ferroviarias deben cerciorarse de que los contratos con proveedores sean adecuados en términos de resiliencia. En el caso de los proyectos de nueva construcción, garantizar la resiliencia de los proveedores es relativamente fácil; en el caso de los sistemas existentes, e incluso de renovación de la flota, esto demandaría un examen exhaustivo y un ejercicio de constatación de múltiples cadenas de suministro, probablemente basado en distintos escenarios de peligros climáticos y naturales.

Las instituciones necesitan procesos de seguimiento y evaluación que extraigan enseñanzas del proceso de evaluación de la capacidad, de las actividades de planificación y de los acontecimientos reales, e incorporen esos conocimientos

en el "sistema" institucional. Este proceso puede suponer la modificación de políticas, estrategias y normas; una nueva capacitación del personal; la realización de sesiones informativas, y la introducción de cambios institucionales u otras medidas (véase también el capítulo 4 sobre la planificación de la gestión de proyectos).

La comunicación es fundamental en todas las etapas del fortalecimiento de la capacidad y la resiliencia. En la esfera interna, los niveles institucionales inferiores deben brindar información precisa a los niveles superiores para que estos cuenten con todos los datos necesarios y tomen decisiones bien fundamentadas. Las mediciones deben ser pertinentes para la operación resiliente de una red ferroviaria urbana, por ejemplo, el tiempo que lleva llegar a un porcentaje determinado de servicio completo, y deben estar vinculadas con el desempeño y los resultados. En la esfera externa, se debe consultar a los grupos de interés sobre las comunicaciones correspondientes.

Las instituciones ferroviarias deben tener planes de continuidad de las actividades para identificar y responder a todas las tensiones y crisis (no solo los peligros climáticos y naturales) que podrían afectar sus actividades.

Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en los proyectos ferroviarios urbanos durante la planificación

La resiliencia de un sistema ferroviario urbano y la manera en que aumentará la resiliencia de la ciudad donde presta servicio deben considerarse desde el primer paso del desarrollo del proyecto para lograr los máximos beneficios. Desde la perspectiva de la resiliencia, los responsables de la toma de decisiones deben tratar de responder la siguiente pregunta: "¿Es esta una solución adecuada, habida cuenta de las incertidumbres?". La resiliencia debe incorporarse en la estrategia de movilidad y uso del suelo urbano, que cumple una función importante para determinar la necesidad y la ubicación de un proyecto ferroviario urbano (véase el capítulo 3). Sin embargo, la respuesta no debe limitarse a considerar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales.

Selección de una estrategia de resiliencia

Es posible aplicar diversos enfoques para el diseño de las estrategias de resiliencia:

- Las opciones *"sin efectos negativos"* tienen efectos beneficiosos independientemente de que el peligro natural ocurra o no. Por ejemplo, el organismo Transport for London del Reino Unido actualmente está mejorando los

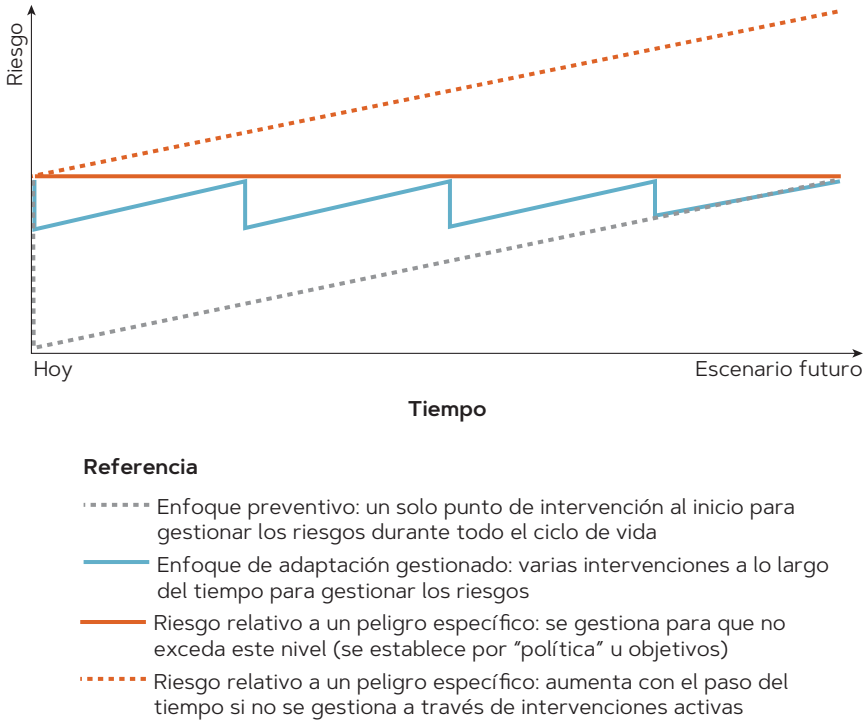
sistemas de refrigeración de los trenes del metro de Londres, lo que aumentará la comodidad de los pasajeros y la resiliencia del sistema a los futuros fenómenos climáticos.

- Las opciones "*con pocos efectos negativos*" pueden generar algunos costos adicionales, en particular en relación con el aumento de la resiliencia, pero estos costos son pequeños en comparación con los beneficios futuros.
- *La adaptación gestionada* incluye opciones flexibles y reversibles que pueden modificarse a medida que se comprende mejor el peligro o la respuesta del entorno urbano al peligro. Este enfoque debe estar sujeto a un proceso regular de seguimiento y examen.
- *El enfoque basado en la resistencia* agrega márgenes de seguridad y resistencia física ante posibles riesgos de peligros naturales.
- *Las medidas institucionales* abordan eficazmente la necesidad de respuesta a las situaciones de peligro a través de estructuras de organización mejoradas y planes de respuesta.

La preparación para la resiliencia incluye dos aspectos que se refuerzan mutuamente: la resiliencia institucional y la resiliencia técnica, que se logran a través de un diseño sólido y una construcción que tenga un buen funcionamiento durante las crisis físicas causadas por peligros naturales. La primera, en sí misma, es principalmente reactiva, mientras que la segunda es fundamentalmente preventiva (véase el gráfico 17.4).

En los sistemas ferroviarios urbanos nuevos y existentes, se debe considerar una combinación de estrategias de resiliencia basada en la duración, la importancia crítica y el tipo de instalación. Por ejemplo, los puentes y las estructuras deben tener un comportamiento aceptable a una intensidad especificada de un temblor de tierra inducido por un terremoto equivalente al terremoto máximo con una probabilidad definida de que se produzca durante la vida útil de su diseño. En caso de que las intervenciones futuras fueran costosas y prolongadas —por ejemplo, si se necesita un puente con un gran vano para soportar niveles de inundación extremos—, estas medidas podrían incorporarse al principio de un proyecto. Sin embargo, cuando exista la opción de adoptar medidas más generales, como las soluciones de infraestructura azul y verde[10] —por ejemplo, humedales artificiales para absorber las aguas de inundaciones— combinadas con la posibilidad, por ejemplo, de construir barreras contra inundaciones en el futuro, es posible que la adopción de un enfoque de adaptación genere valor y mayores beneficios.

GRÁFICO 17.4. Marco ilustrativo de gestión adaptativa de sistemas de infraestructura (comparado con un enfoque preventivo o un enfoque reactivo o de "no hacer nada")



Fuente: Adaptado de Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido (2011).
Nota: La línea naranja indica el nivel de riesgo actual. Por encima de este punto se encuentra el riesgo mayor y debajo, el riesgo menor.

Medidas de resiliencia

Las medidas de resiliencia pueden agruparse en las siguientes categorías amplias:

- *La capacidad de anticiparse a acontecimientos adversos.* La capacidad de anticiparse se basa en métodos de previsión para comprender los peligros y los riesgos climáticos y evitarlos cuando sea posible (por ejemplo, ubicar los patio talleres en terrenos más altos), utilizar parámetros adecuados de diseño y contar con planes de respuesta sólidos en caso de que ocurran.
- *La capacidad de absorber acontecimientos adversos.* La capacidad de absorber tiene dos elementos principales: a) la resistencia física (que se logra a través de un nivel adecuado de solidez en el diseño), y b) la redundancia

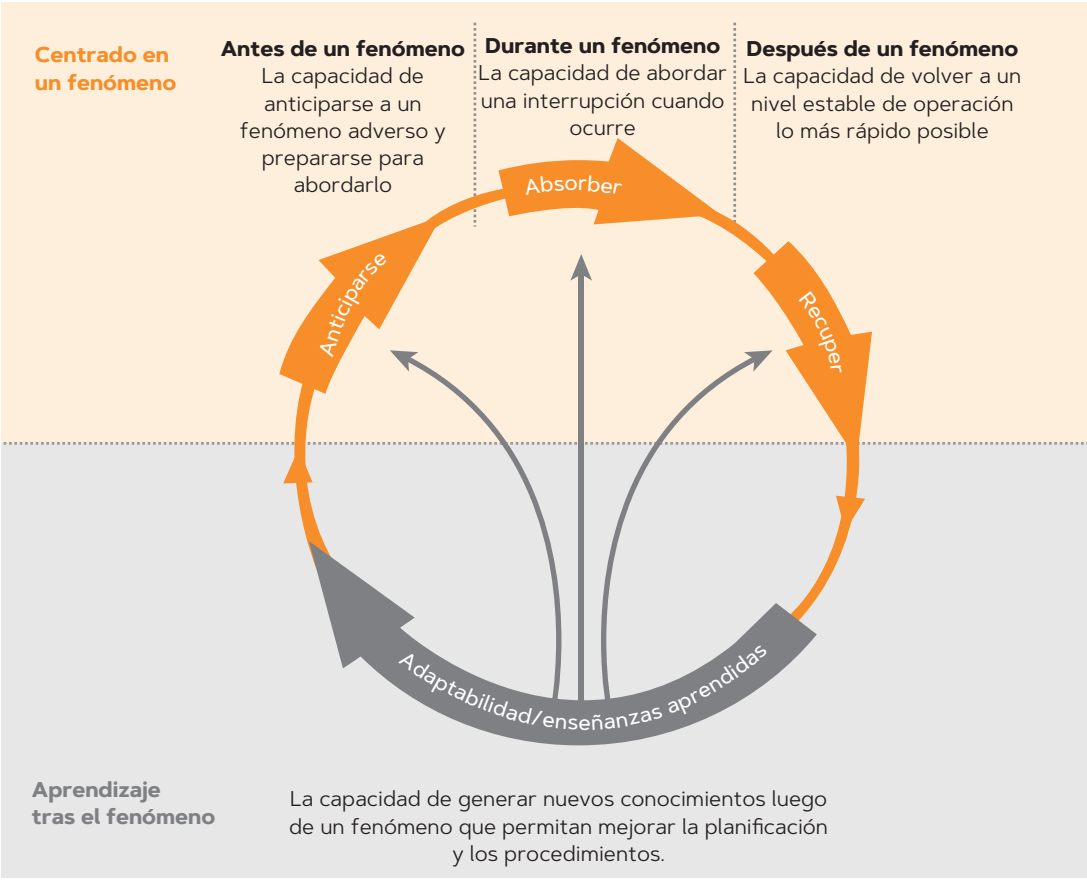
(que se logra, por ejemplo, a través de rutas alternativas, modalidades de transporte alternativas, fuentes de energía eléctrica alternativas o medios de comunicación alternativos). La capacidad de absorber las crisis también puede lograrse a través de la provisión de infraestructura azul y verde, por ejemplo, humedales artificiales o tanques de tormentas dentro de la ciudad que absorban temporalmente el exceso de aguas de inundaciones.

- *La capacidad de recuperarse rápidamente de los acontecimientos adversos*. La respuesta y la recuperación dependen de una adecuada planificación anticipada y de la comunicación a todos los grupos de interés, como así también de la comprensión de los posibles impactos, los niveles de servicio previstos y los lugares más vulnerables e importantes del sistema ferroviario.
- *La capacidad de adaptarse a los acontecimientos adversos*. La adaptabilidad implica aprender y aplicar las enseñanzas luego de un acontecimiento (véase el gráfico 17.5). La capacidad de adaptarse puede incluir, por ejemplo, el alejamiento a largo plazo de una zona peligrosa. Las medidas de adaptación planificadas o gestionadas pueden incluir una asignación para una mayor frecuencia del bateo del balasto luego de precipitaciones intensas e inundaciones (en contraste con el uso de vías en placa de hormigón, que puede resistir las precipitaciones intensas con menos mantenimiento).

En el gráfico 17.6, se presentan ejemplos específicos de medidas de resiliencia adecuadas para los diversos tipos de peligros sobre los sistemas ferroviarios urbanos, los que se amplían en los cuadros A17.1 a A17.4 en el anexo del capítulo (véanse también los recuadros 17.1 y 17.2). Un concepto importante a la hora de seleccionar medidas de resiliencia adecuadas para un sistema ferroviario urbano es reconocer que las medidas físicas para reducir el impacto de los peligros resistiéndolos o evitándolos son muy eficaces para el peligro específico para el que se diseñaron. Las medidas institucionales para reducir el riesgo y mejorar la capacidad de recuperación por lo general son comunes para todos los peligros conocidos y posiblemente desconocidos, siempre que se apliquen con eficacia. Sin embargo, estas medidas no estructurales no evitarán que se produzcan daños físicos, sino que solo podrán reducir su impacto.

Los planes y medios de comunicación también deben ser resilientes a los impactos de los peligros; de lo contrario, debe haber una alternativa disponible. Por ejemplo, si se utilizan comunicaciones a través de Internet, debe tenerse la certeza de que las partes involucradas tendrán acceso a energía eléctrica y a Internet. Si no es así, debe haber un medio de comunicación alternativo disponible.

GRÁFICO 17.5. Cuatro componentes de un marco de resiliencia centrado en un fenómeno, con diferentes categorías de medidas de resiliencia

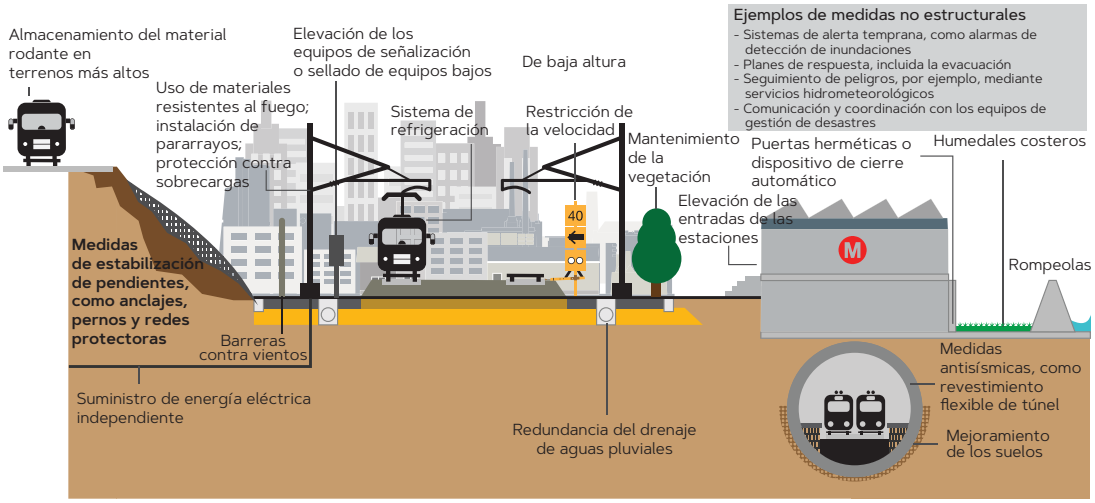


Fuente: Adaptado de Consejo Asesor de Infraestructura Nacional (NIAC) (2010).

Un enfoque de sistemas para la planificación del transporte ferroviario urbano

Los ferrocarriles urbanos son sistemas sociotécnicos complejos (en los que las personas que operan y utilizan el sistema son una parte fundamental de él) y muy dependientes de otros sistemas urbanos y de transporte. En particular, los sistemas ferroviarios urbanos generalmente dependen en gran medida de los sistemas de energía eléctrica y comunicaciones. Puede haber otras dependencias menos obvias, por ejemplo, el personal ferroviario necesita viajar para ir a trabajar, lo que hace que el sistema posiblemente dependa de otras formas de

GRÁFICO 17.6. Ejemplo de medidas de resiliencia que pueden aplicarse a un desarrollo de ferrocarriles urbanos



Fuente: Creado por Arup, Londres (Reino Unido) para el Banco Mundial.

transporte (por ejemplo, por carretera) (Booth, 2012). Estas interconexiones o interdependencias intrínsecas e inevitables pueden ser el resultado de interacciones físicas, digitales, geográficas e institucionales (Frontier Economics, 2012; ICIF, 2014). Históricamente, la planificación de la infraestructura urbana se ha llevado a cabo en sectores separados; sin embargo, existe una necesidad cada vez mayor de planificar la infraestructura considerando el sistema de sistemas general. Un enfoque multisectorial que incluya la participación temprana de las partes interesadas ayudará a los responsables de la toma de decisiones del proyecto a comprender estas dependencias.

Tener en cuenta los siguientes factores ayudará a garantizar que se incorpore la resiliencia en la planificación del desarrollo del proyecto:

- ¿Cómo aumentará el proyecto la resiliencia de la sociedad o la comunidad? Una comunidad resiliente contribuirá a la recuperación rápida de una ciudad afectada por un peligro.
- ¿Se han identificado los peligros climáticos y naturales pertinentes para la geografía del proyecto? ¿Cuáles son los posibles impactos de tales peligros durante el ciclo de vida del sistema ferroviario? Esta información evitará grandes incrementos imprevistos en las estimaciones de costos de los proyectos durante el diseño detallado, la construcción, la operación y el mantenimiento.

- ¿Qué partes del sistema propuesto, o de otros sistemas cuando existe una dependencia, son las más importantes?
- ¿En qué casos y cuándo deben aportarse recursos para abordar estas inquietudes?

Durante la planificación, se deben identificar medidas de resiliencia eficaces en función de los costos realizando análisis de la vulnerabilidad estructurados y determinando dónde se necesita la redundancia en el sistema de transporte urbano general para reducir el impacto en los puntos críticos. Por ejemplo, las inundaciones que afectan a los sistemas ferroviarios urbanos también afectan las calles ubicadas al mismo nivel o debajo de este. Por lo tanto, es importante considerar la redundancia y modelar los impactos en toda la red de transporte de la región metropolitana. Los instrumentos de planificación del espacio pueden ser eficaces para este proceso (véase Banco Mundial, 2017a).

Requisitos de desempeño de un sistema ferroviario urbano

En el cuadro 17.3, se presenta un marco para establecer niveles de tolerabilidad respecto de las consecuencias que un peligro climático o natural puede tener en el funcionamiento de un sistema ferroviario urbano, lo que incluye la operación, la infraestructura, la situación financiera o la reputación. Al definir estas calificaciones sobre las consecuencias, las instituciones de transporte ferroviario urbano podrán tomar decisiones adecuadas y congruentes sobre las medidas de resiliencia.

El desempeño aceptable puede depender del tipo de componente o de su ubicación en la red. Por ejemplo, las "demoras considerables" quizás sean tolerables en un tramo del sistema que cuenta con redundancia suficiente en términos de modalidades alternativas de transporte (importancia baja); sin embargo, las mismas demoras considerables tal vez sean inaceptables en un tramo crítico sin redundancia. Es posible establecer niveles de desempeño tolerable en mayor detalle para los diferentes componentes del sistema sujetos a distintos niveles de peligro, especialmente en el caso de inundaciones, vendavales y terremotos.

El desempeño aceptable también depende de la frecuencia o la probabilidad de que se produzca el peligro; en el caso de un fenómeno frecuente, tanto el operador de transporte ferroviario como los clientes esperarán consecuencias menores o nulas, mientras que en el caso de un fenómeno muy poco frecuente, quizá se considere tolerable un nivel más alto de impacto. Los niveles de desempeño tolerable, incluido el tiempo necesario para restablecer el servicio normal en el caso de todos los peligros, deben definirse al inicio de un proyecto y comunicarse a todas las partes interesadas. Los indicadores habituales de desempeño para la operación ferroviaria se basan en la disponibilidad, la seguridad, la

CUADRO 17.3. Calificaciones indicativas para las consecuencias de peligros climáticos o naturales

CALIFICACIÓN DE LA CONSECUENCIA	SEGURIDAD	COSTO DE LOS DAÑOS Y LA INTERRUPCIÓN (MILLONES DE USD)	TIEMPOS DE VIAJE	PERCEPCIÓN PÚBLICA
Muy baja	Daños menores o cuasi incidente	< 5	Retrasos menores	Reacción adversa a corto plazo de los grupos de interés locales
Baja	Tiempo perdido, lesiones o necesidad de tratamiento médico, impacto a corto plazo en las personas afectadas	5-25	Retrasos considerables	Informes adversos de los medios de comunicación locales durante un período prolongado; preocupación de los grupos de interés
Intermedia	Lesiones o enfermedades a largo plazo, hospitalización prolongada o incapacidad para trabajar	25-100	Retrasos graves o cancelaciones < 1 día	Informes locales o regionales considerables, incluidas las redes sociales; interés de los medios de comunicación nacionales que suscita preocupación en el público en general
Alta	Una sola muerte o varias lesiones a largo plazo	100-250	Cancelaciones graves 1-14 días	Amplios informes nacionales adversos y prolongados, y enfrentamientos públicos con los principales grupos de interés, las empresas de servicios públicos o los organismos gubernamentales
Muy alta	Varias muertes	> 250	Cancelaciones graves > 2 semanas	Informes negativos extensos y prolongados a nivel nacional o enfrentamientos públicos con las principales partes interesadas

fiabilidad, la calidad, la cantidad y la eficacia, y se calculan en forma continua (véase el capítulo 13). Sin embargo, tal vez sea necesario definir indicadores especiales para la respuesta a los acontecimientos adversos y la recuperación luego de estos. Garantizar la protección de la vida es el nivel aceptable mínimo de desempeño y debe proporcionarse mediante un diseño acorde a los códigos y las normas pertinentes. Brabhaharan (2006) presenta un examen útil de medidas de desempeño relativas a fenómenos climáticos extremos para carreteras, puentes y sistemas de agua que puede servir como punto de partida para los sistemas ferroviarios urbanos.

Deloukas y Apostolopoulou (2017) señalan que otro indicador clave de desempeño sobre la restauración de los sistemas de transporte urbano es el tiempo de recuperación necesario para lograr un nivel de operatividad del 90 %. Los objetivos de tiempo de recuperación aceptable deben establecerse mediante el diálogo con los grupos de interés de otros sistemas de transporte urbano y acordarse a nivel de la región metropolitana, reconociendo que a los pasajeros les interesan más sus viajes de principio a fin que una modalidad de transporte en particular.

Análisis de vulnerabilidad

La mayoría de los elementos de un sistema ferroviario urbano son vulnerables en cierta medida a los peligros climáticos y naturales. Identificar las mayores vulnerabilidades —es decir, aquellos elementos con las mayores posibilidades de sufrir daños si ocurre un peligro— ayudará a priorizar las medidas físicas para aumentar la resiliencia y contribuirá a los planes de respuesta y recuperación. Se deben identificar los activos vulnerables por ubicación y por subsistema ferroviario, y se deben estudiar las principales interdependencias. Se puede compilar una base de datos de activos, incluidos los edificios, que son vulnerables a fenómenos tales como las precipitaciones extremas, sequías o inundaciones fluviales o costeras (RSSB, 2016).

Se pueden utilizar instrumentos de análisis espacial para cotejar datos meteorológicos optimizados e información sobre activos (como tipo, condición, antigüedad, ubicación y función) con evaluaciones de peligros a largo plazo, a fin de identificar las vulnerabilidades existentes. Por ejemplo, al combinar los mapas de peligros de inundaciones con los tipos y las ubicaciones de puentes, se pueden identificar los puentes ferroviarios potencialmente vulnerables a inundaciones. Los datos sobre las vulnerabilidades de los activos pueden considerarse junto con los acontecimientos relacionados con la seguridad y las interrupciones del servicio para priorizar las inversiones. La elaboración de mapas de vulnerabilidad puede contribuir a la preparación operacional y la respuesta a los fenómenos climáticos extremos pronosticados. En el informe *Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change* (ARISCC) (2011), se presentan calificaciones de vulnerabilidad de los activos de infraestructura ferroviaria y orientaciones para la elaboración de mapas de vulnerabilidad mediante sistemas de información geográfica (SIG).

Evaluación de la importancia crítica

Durante las primeras etapas de planificación de nuevos sistemas ferroviarios urbanos o de proyectos de adaptación de sistemas existentes, es útil realizar una evaluación de alto nivel de la importancia crítica para identificar los componentes esenciales del sistema, los posibles "puntos de estrangulamiento" donde pueden producirse congestiones o bloqueos, y las principales interdependencias.

En general, en una evaluación de la importancia crítica, se consideran cuatro parámetros (Fekete, 2011; Theoharidou, Kotzanikolaou y Gritzalis, 2009):

- *Distribución espacial*. El impacto geográfico de la interrupción si el componente de infraestructura no está disponible.
- *Gravedad, intensidad, magnitud*. Las consecuencias de la interrupción o la destrucción de una parte determinada de la infraestructura (por ejemplo, la cantidad de usuarios afectados).
- *Efectos del tiempo o de una interrupción temporal*. El momento en que la pérdida de un elemento puede tener un impacto grave (por ejemplo, de inmediato, dentro de uno o dos días, dentro de una semana).
- *Diversidad y redundancia*. Capacidades necesarias para prevenir, mitigar o compensar las fallas.

La importancia crítica, en términos de resiliencia, también puede verse influenciada por la medida en la que un sistema esté estrechamente acoplado o sea complejo. Por ejemplo, en un sistema estrechamente acoplado, las fallas en cascada se producirán velozmente, ya que la parte específica del sistema no puede aislarse rápidamente del resto. Un sistema complejo es aquel en el que los numerosos componentes interconectados pueden interactuar de maneras imprevistas. Se pueden utilizar modelos de redes para comprender lo que le ocurre a un sistema de transporte cuando se quita un nodo o un enlace (Banco Mundial, 2017b).

Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en el diseño y la construcción de un sistema ferroviario urbano

A la hora de diseñar una nueva infraestructura para proyectos ferroviarios urbanos de gran magnitud o modernizar sistemas existentes, se deben considerar las medidas de resiliencia adecuadas. Estas medidas pueden incorporarse en el diseño mediante el uso de normas de diseño de transporte ferroviario moderno que tienen en cuenta los peligros climáticos y naturales pertinentes a una geografía determinada. Se debe considerar la posibilidad de adaptar las normas establecidas para permitir que el servicio se restablezca de forma parcial luego de una emergencia cuando no sea posible restablecer el servicio completo (Real Academia de Ingeniería, 2011).

Existen conocimientos sólidos de ingeniería antisísmica y de protección contra vientos e inundaciones, y muchos países tienen normas de diseño adecuadas respecto de estos peligros. Los diseñadores de proyectos de países que no cuenten con normativa local específica deben considerar la posibilidad de adoptar las mejores prácticas internacionales, por ejemplo, el conjunto de Eurocódigos

EN 1990 a EN 1999 (Comité Europeo de Normalización, 2007), las normas de diseño de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO), y las Especificaciones Estándares de la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (2007) (véase el recuadro 17.4).

RECUADRO 17.4.

Requisitos de desempeño de Japón

En 1995, Kobe se vio devastada por el Gran Terremoto de Hanshin, considerado uno de los terremotos más mortíferos y costosos que ha sufrido Japón. El sismo provocó más de 6000 muertes, destruyó 150 000 edificios y causó daños por valor de USD 100 000 millones. Muchas estaciones ferroviarias y del metro colapsaron o sufrieron daños graves, y tan solo el 30 % de las vías ferroviarias de la zona continuó en funcionamiento (véase la

IMAGEN B17.4.1. Trenes estacionados en el patio de taller de Shinzaike, de la línea Hanshin Dentetsu, inclinados hacia un lado tras el Gran Terremoto de Hanshin de Japón en 1995

Fuente: © Roy Garner, Alamy. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

(El recuadro continúa en la página siguiente)

RECUADRO 17.4.

Requisitos de desempeño de Japón *(Continuación)*

imagen B17.4.1). Las estructuras erigidas de conformidad con los códigos de construcción antisísmica de esa época se consideraban suficientes para resistir los terremotos de tal magnitud y, sin embargo, fallaron.

En respuesta a este terremoto y los daños que causó, las normativas de diseño en Japón se mejoraron con la introducción de normativas basadas en el desempeño. La primera normativa que se revisó fue la Ley de Normas de Construcción, en 1998, que establece que, para el diseño antisísmico de edificios, se exigen dos niveles de desempeño, según el terremoto ocurrido. Estos niveles son la seguridad de la vida humana y la limitación de los daños. En el caso de un terremoto máximo (según lo indiquen los registros de terremotos y la evaluación sísmica y geológica), se debe garantizar la seguridad de la vida humana. Para un evento que ocurre una vez en la vida (período de retorno de 30 a 50 años), no debe producirse ningún daño estructural que amenace la seguridad estructural de la construcción. Desde 1999, las estructuras y las explanaciones en los sistemas ferroviarios también han adoptado un código de diseño basado en el desempeño.

Fuente: Adaptado de Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (2007).

Sin embargo, los códigos y normas de diseño a prueba de eventualidades futuras contra los efectos del cambio climático a largo plazo se encuentran todavía en proceso de elaboración. Habida cuenta de los cambios meteorológicos y climáticos, se ha determinado que las normas ferroviarias, en particular las especificaciones sobre sistemas de drenaje, mantenimiento, protección contra inundaciones y temperaturas extremas, tienen una importancia crítica para el desempeño futuro. Tener en cuenta las condiciones futuras es especialmente importante debido a la prolongada vida útil de los activos ferroviarios. En lugar de especificar las propuestas de diseño, dado el carácter incierto del cambio climático, en algunas investigaciones, como el informe *Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change* y el proyecto TRaCCA, se recomienda un giro hacia las normas basadas en el desempeño (en los indicadores). Los organismos de ejecución de proyectos ferroviarios urbanos deben comprender qué implica en realidad un diseño basado en normativas para lograr el desempeño previsto del sistema y determinar si el diseño del proyecto es compatible con los requisitos de desempeño.

En la siguiente lista se destacan algunas consideraciones de diseño de todo el sistema que pueden verse influenciadas por la necesidad de incorporar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales (véanse también los cuadros 17A.1 a 17A.4):

- *Opciones fundamentales de diseño*. Se puede aumentar la resiliencia de la infraestructura lineal aplicando diferentes criterios de diseño para los distintos elementos de infraestructura sobre la base del perfil de riesgo evaluado. Los tramos subterráneos deben diseñarse y verificarse de forma adecuada en función del riesgo sísmico y las condiciones geológicas locales (véase el recuadro 17.5). Las estructuras elevadas pueden ser más vulnerables a los peligros sísmicos y los vientos que el transporte ferroviario a nivel, pero menos vulnerables a las inundaciones.
- *Vida útil de diseño de los componentes*. La vida útil de diseño de cada componente debe considerarse en el contexto del cambio climático y otros peligros. Muchos de los sistemas de vía ferroviaria, sistemas electrónicos y tecnologías de comunicación tienen vidas útiles de diseño de menos de 30 años, y las proyecciones climáticas para dicho período de evaluación son razonablemente confiables. Sin embargo, las estaciones y otros activos pueden tener vidas útiles de diseño mucho más prolongadas con las renovaciones adecuadas (véase el capítulo 13).
- *Tecnologías innovadoras*. Las comunicaciones digitales y los sistemas inteligentes de seguimiento de la infraestructura pueden aumentar la disponibilidad de información sobre, por ejemplo, la ubicación de los vehículos dentro del sistema, el desgaste de los materiales y el estado de conservación de los activos. Esta información es fundamental para aumentar la eficiencia de la operación y ofrece oportunidades para adoptar enfoques de mantenimiento más inteligentes, lo cual mejorará la capacidad de preparación, respuesta y recuperación con respecto a las situaciones de peligro. Por el contrario, las soluciones basadas en tecnología pueden aumentar la complejidad de un sistema ferroviario urbano de por sí complejo y crear posibles "propiedades emergentes"[11] que los diseñadores deben reconocer, comprender y comunicar.
- *Redundancia del suministro de energía eléctrica*. Para los sistemas ferroviarios, el suministro de electricidad es indispensable. Por lo tanto, para que un sistema ferroviario sea resiliente, siempre debe haber un suministro de reserva disponible. Por ejemplo, en el marco del programa New Jersey TransitGrid, se está construyendo una microrred específicamente para suministrar energía a la infraestructura ferroviaria durante tormentas u otros fenómenos climáticos extremos. Las medidas de eficiencia energética, como el diseño de estaciones y patio talleres con bajo consumo de energía, la optimización de los sistemas de calefacción y refrigeración, y la recuperación de la energía de frenado, generan numerosos beneficios, entre los que se

RECUADRO 17.5.

Diseño del túnel de Marmaray: Estambul (Turquía)

Turquía se ve afectada habitualmente por terremotos devastadores. El 17 de agosto de 1999, la región de Izmit, al este de Estambul, fue azotada por un terremoto de magnitud 7,6, que causó la muerte de 17 000 personas y daños por valor de USD 8500 millones. Posteriormente, el Municipio Metropolitano de Estambul introdujo estrictos requisitos de diseño antisísmico de las instalaciones de transporte ferroviario urbano.

El túnel de Marmaray, por donde circula el metro de Estambul, se encuentra a solo 16 kilómetros de la falla activa del norte de Anatolia. El diseño del túnel incluye varias medidas para aumentar la resiliencia a un terremoto de gran magnitud, entre las que se incluyen inyecciones de lechada para minimizar los efectos de la licuefacción, un túnel flexible que no se fracturará en caso de temblores fuertes de tierra, y compuertas contra inundaciones para cortar el paso del agua en caso de que se produzca una grieta (véase la imagen B17.5.1).

IMAGEN B17.5.1. Trabajadores en el túnel de Marmaray, resiliente a los terremotos: Estambul (Turquía)

Fuente: © ymphotos/Shutterstock. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

incluyen la reducción de los costos de operación, el aumento de la sostenibilidad y la disminución del impacto ambiental[12]. Además, el menor consumo de energía reduce la dependencia de los sistemas ferroviarios urbanos de las redes eléctricas externas y puede incrementar la resiliencia.

- *Diseño del sistema.* El diseño de las redes ferroviarias urbanas debe incluir consideraciones relativas a la redundancia en los tramos críticos de la ruta. La señalización y fijación de horario dinámicas y flexibles pueden aumentar la disponibilidad de un sistema ferroviario mientras se produce un fenómeno climático e inmediatamente después de este, y minimizar los efectos en cascada que puede ocasionar la pérdida de una parte del sistema. Los trenes automáticos "sin conductor" permiten optimizar la eficacia de la aceleración y el frenado, y brindan una mayor flexibilidad de servicio en respuesta a los fenómenos climáticos sin necesidad de movilizar equipos humanos.

El diseño detallado de un sistema ferroviario urbano debe estar respaldado por especialistas en elaboración de modelos hidrológicos e hidráulicos, a fin de comprender la vulnerabilidad del proyecto a las inundaciones y garantizar que la presencia física de un nuevo ferrocarril no incida de manera adversa en los patrones generales de inundación. La capacidad de drenaje debe diseñarse teniendo en cuenta los efectos del cambio climático. La infraestructura "gris" tradicional, como los drenajes y las alcantarillas, es difícil de adaptar durante la vida útil de diseño de un proyecto; por lo tanto, se recomienda adoptar un enfoque preventivo para diseñar la capacidad de drenajes y alcantarillas que tenga en cuenta los efectos del cambio climático. En el caso de las infraestructuras subterráneas, los túneles de transporte ferroviario urbano pueden inundarse de agua y actuar como tuberías si los sistemas de drenaje y alcantarillado de la ciudad no pueden resistir las inundaciones. Además, se deben consultar modelos de inundación para evaluar las consecuencias de una inundación superior a la de diseño; si estas son importantes y un leve aumento de la capacidad podría resolver la situación, es recomendable tener en cuenta esta información en la etapa inicial de manera preventiva.

En el capítulo 11 de este manual se describen en detalle los métodos constructivos para proyectos ferroviarios urbanos. Por lo general, la selección de métodos constructivos y la elección de los materiales de construcción se basan principalmente en otros factores y no en la resiliencia, por ejemplo, las especificaciones de diseño, el costo, la seguridad y la disponibilidad de materiales. No obstante, en consonancia con las recomendaciones formuladas en este capítulo, en la selección del método constructivo deben incluirse las consideraciones relativas a la resiliencia a los peligros climáticos y naturales. Se deben incorporar medidas simples, como el uso de pintura resistente al calor para reducir la vulnerabilidad de las vías a las temperaturas extremas.

Las posibilidades de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos u otros peligros naturales durante la construcción deben reconocerse y gestionarse en el contrato. Se debe analizar, por ejemplo, la posibilidad de hacer un seguimiento de las alertas meteorológicas y otras alertas, y tomar las medidas correspondientes para garantizar que los fenómenos no ocasionen impactos catastróficos para la seguridad o el medio ambiente (por ejemplo, el derrumbe de materiales apilados durante una tormenta) (véase el capítulo 15). El uso de contrataciones basadas en el desempeño, conforme a las cuales las decisiones relativas a las adquisiciones se basan en el fin previsto del producto o servicio, hará que tanto los diseñadores como los contratistas piensen en las consecuencias y el desempeño a largo plazo de los sistemas de infraestructura que diseñan y construyen.

Incorporación de la resiliencia a los peligros climáticos y naturales en la operación y el mantenimiento

Las consideraciones relativas a O&M se aplican tanto a la planificación y la ejecución de proyectos nuevos como a la operación de sistemas ferroviarios existentes. Es posible que los sistemas existentes presenten desafíos considerablemente mayores, puesto que es improbable que se los haya diseñado para resistir los peligros naturales de la misma manera que los sistemas nuevos. Además, los sistemas existentes tienen complicaciones adicionales, como el desgaste natural y el deterioro de los activos y componentes, y es posible que el concepto de deterioro a lo largo del tiempo no incorpore los impactos del cambio climático, por ejemplo, el aumento de la frecuencia de temperaturas altas en la vía. En el capítulo 13 se presentan consideraciones relativas a la operación, la gestión de activos y el mantenimiento de sistemas ferroviarios urbanos. Esta sección se centra en las cuestiones relacionadas específicamente con la resiliencia a los peligros climáticos y naturales.

Gestión y mantenimiento de activos

El mantenimiento es un componente esencial de la resiliencia porque garantiza que los activos funcionen según lo previsto durante un fenómeno climático extremo. Mantener los drenajes limpios de escombros constituye un ejemplo clave de esto, al igual que controlar el crecimiento de vegetación a lo largo de los sistemas ferroviarios urbanos y a su alrededor. Los drenajes obstruidos pueden, por ejemplo, provocar la inundación de las vías y los equipos de señalización. El hecho de no mantener los activos o postergar las actividades de mantenimiento para ahorrar costos puede aumentar la

vulnerabilidad y exacerbar los daños, incluso en condiciones de funcionamiento "normales".

Los sistemas sólidos de gestión de activos[13] basados en análisis del ciclo de vida de la infraestructura pueden ser muy eficaces para respaldar la planificación y la respuesta a fenómenos climáticos extremos (Banco Mundial, 2017a). Los datos espaciales que definen el tipo, la condición, la vulnerabilidad y la importancia crítica de los activos pueden cotejarse con los datos sobre peligros sísmicos u otros peligros geofísicos y también con las previsiones meteorológicas en tiempo real. Se deben contratar servicios de previsión meteorológica adaptados a las propias necesidades, con un nivel de especificidad espacial y temporal adecuado para los requisitos del sistema, combinados con umbrales.

Entre las principales decisiones en materia de gestión de activos (que se examinan en mayor detalle en el capítulo 13), se incluye determinar el plazo óptimo para reemplazar los activos con síntomas de desgaste natural tomando en cuenta la posibilidad de extender la vida útil de los activos cuando corresponda. A la hora de tomar tales decisiones, es preciso considerar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales, lo que incluye el posible incremento de los peligros durante la vigencia extendida del diseño y las nuevas vulnerabilidades generadas por el desgaste natural. En el caso de los sistemas ferroviarios existentes, el enfoque más eficaz en función de los costos consiste en incorporar medidas de adaptación para aumentar la resiliencia frente a los desastres climáticos y naturales en las actividades planificadas de gestión de activos, como las renovaciones. Dichas intervenciones pueden priorizarse en función de las evaluaciones de la vulnerabilidad y de la importancia crítica.

La implementación de sistemas modernos de control y señalización de trenes es otra medida operativa que no solo mejora el desempeño y la fiabilidad en general, sino que también reduce la vulnerabilidad a los peligros climáticos. Las medidas de adaptación pueden ser relativamente simples, por ejemplo, reemplazar los cables expuestos con fibra óptica o materiales más resistentes. Como se señaló antes en este capítulo, es importante proporcionar fuentes alternativas de electricidad. La verificación del funcionamiento de tales sistemas de reserva, dado que no se usan con frecuencia, debe formar parte del régimen de mantenimiento.

Los datos de los exámenes y las inspecciones son un componente esencial del sistema de gestión de activos, y los datos que describen los defectos y los cambios de las condiciones brindarán a los gestores de activos un modelo válido de las condiciones de los activos. Las soluciones de seguimiento "inteligentes", como los datos de sensores incorporados y estudios remotos, son cada vez más valoradas por la calidad y la precisión de los datos que proporcionan y los beneficios adicionales que generan, por ejemplo, la retirada de los trabajadores de un

entorno de vías ferroviarias que no es seguro. Los avances tecnológicos permiten incluso el autodiagnóstico y la reparación de forma remota.

Preparación y respuesta operacionales

El tiempo es muy valioso cuando ocurre un desastre. Como parte del manual general de O&M de un sistema ferroviario, deben elaborarse procedimientos, políticas y planes de respuesta de emergencia en los que se establezcan las respuestas operacionales a los diferentes tipos y gravedades de peligros. En estos planes, deben tenerse en cuenta los factores humanos, por ejemplo, si es probable que el personal clave tenga acceso a las comunicaciones y la energía eléctrica, si podrá llegar a un punto común y cómo responderá durante un período de crisis. Estos factores humanos son una parte fundamental de un plan de respuesta eficaz.

Las simulaciones, dentro de un equipo de operaciones o a escala regional o multisectorial, son un medio muy eficaz para cerciorarse de que los responsables de actuar durante una emergencia comprendan sus responsabilidades e interacciones. Además, las simulaciones revelan las posibles consecuencias imprevistas o inesperadas, y permiten que las instituciones estén mejor preparadas para abordarlas. La Autoridad Metropolitana del Transporte (MTA) de Nueva York realiza cursos de capacitación y simulacros de planificación para emergencias de forma periódica. Las comunicaciones eficaces y la resiliencia de tales comunicaciones deben formar parte de la planificación de respuestas. Los medios sociales frecuentemente son un medio de comunicación eficaz durante una crisis.

Los operadores de transporte ferroviario urbano deben contar con planes para condiciones meteorológicas adversas, en los que se reconozca la vulnerabilidad de los diferentes activos a los distintos fenómenos meteorológicos y se utilicen con eficacia las capacidades de planificación espacial del sistema de gestión de activos a fin de planificar medidas orientadas a los riesgos antes de los fenómenos adversos y durante estos.

Las vulnerabilidades conocidas también deben tenerse en cuenta para las inspecciones visuales o remotas; por ejemplo, tras una tormenta, se debe priorizar la inspección de las estructuras que se sabe que son vulnerables a los vientos fuertes. El Equipo de Trabajo para la Adaptación al Clima de la MTA (2017) describe su cuenta regresiva desde aproximadamente cinco días antes de una tormenta pronosticada hasta la "hora cero", en la que posiblemente se cierren los puentes y túneles. Estos planes se elaboran con otras autoridades de la ciudad, por ejemplo, para facilitar la evacuación.

Se deben tomar decisiones teniendo en cuenta la necesidad de mantener los trenes en funcionamiento durante las condiciones meteorológicas adversas y los posibles impactos en la seguridad que esto implica. Durante las nevadas

intensas, es preciso tomar la decisión operativa de mantener los trenes en funcionamiento, lo que reduce las posibilidades de que la nieve se asiente sobre las vías, o de suspender los servicios debido a la gravedad del fenómeno climático, lo que se traduce en un período de recuperación más prolongado debido a la acumulación de nieve. Los umbrales meteorológicos y las medidas pertinentes deben definirse atendiendo a las particularidades de cada proyecto (y posiblemente de cada lugar o activo) para cerciorarse de que sean adecuados y evitar "alertas falsas".

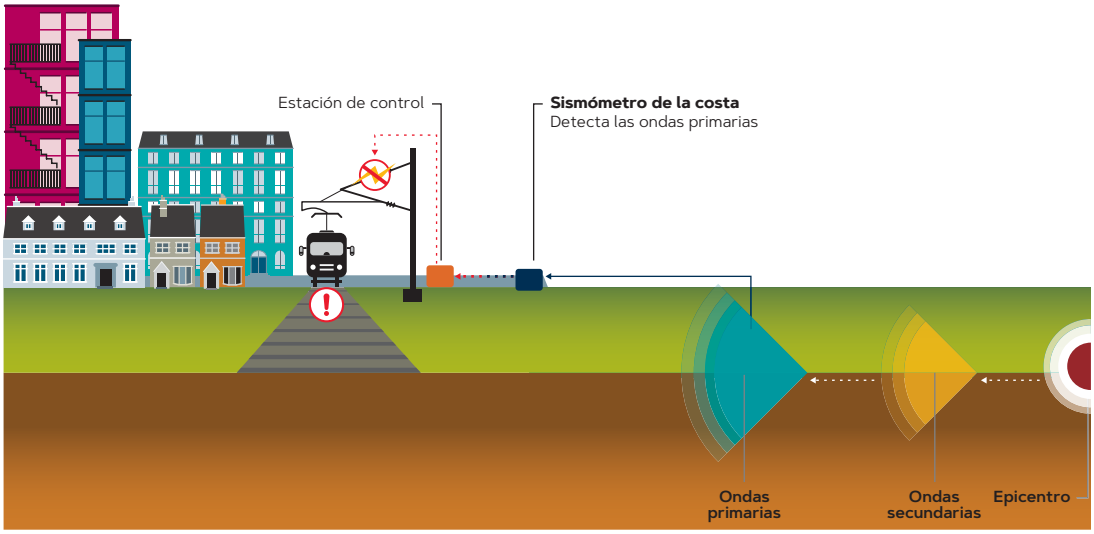
Sistemas de seguimiento y alerta

Los sistemas de seguimiento y alerta son opciones eficaces en función de los costos para aumentar la resiliencia. Estos sistemas pueden incluir sensores para detectar desprendimientos de tierras, estaciones de pluviómetros, o la medición periódica de los niveles de agua para hacer un seguimiento de las inundaciones. Pueden instalarse luego de la construcción, cuando se identifican los peligros, pero generalmente resulta más eficaz incluir las soluciones de seguimiento inteligentes durante el diseño y la construcción. El seguimiento adecuado puede prevenir la pérdida de vidas humanas durante un fenómeno climático extremo, pero no evita los daños físicos a la infraestructura ferroviaria.

Se necesita asesoramiento especializado para establecer umbrales de acción adecuados en los sistemas de seguimiento (por ejemplo, intensidad de un temblor de tierra, cantidad de precipitaciones o magnitud de la deformación del terreno), que sean específicos según los requisitos de desempeño y la vulnerabilidad del activo en cuestión. Por ejemplo, el Instituto de Investigación Técnica Ferroviaria (2015) describe cómo se definen los valores de activación por precipitaciones (es decir, los umbrales de precipitación que activan una respuesta operacional) para actuar en la infraestructura de la vía, que dependen de la naturaleza de la pendiente y de sus propiedades geotécnicas. Una vez que se definen los valores de activación, se deben establecer las respuestas operativas correspondientes, por ejemplo, limitar la velocidad de los trenes o suspender la operación. Estos valores de activación estarán determinados específicamente por el contexto del sistema ferroviario.

Pueden incorporarse en sistemas de alerta temprana que permitan generar y divulgar información de alerta oportuna y significativa, de modo que se pueda responder ante un peligro con tiempo suficiente para reducir las posibilidades de que produzca daños o pérdidas. Los sistemas japoneses de alerta temprana de terremotos, desprendimientos de tierras, fenómenos climáticos graves y otros peligros (véase el gráfico 17.7) activan medidas de preparación en diversas partes interesadas, incluidos los operadores de transporte, las autoridades encargadas de hacer cumplir la ley y los Gobiernos locales responsables de la

GRÁFICO 17.7. Sistema de alerta temprana de terremotos de Japón



Fuente: Creado por Arup, Londres (Reino Unido) para el Banco Mundial.

gestión de desastres, pero también alertan a los ciudadanos para que estén atentos a su entorno, tengan en cuenta las comunicaciones de los servicios de emergencia y tomen las medidas necesarias para proteger su vida. El sistema de alerta temprana de terremotos de Japón interrumpió eficazmente el suministro de energía eléctrica y aplicó los frenos de emergencia en los trenes *shinkansen* en los primeros segundos del temblor de tierra durante el gran terremoto de Japón oriental de 2011, con lo cual evitó descarrilamientos.

Respuesta antes situaciones de emergencia y recuperación

A continuación, se incluyen algunas medidas que se aplican en todo el sistema para responder a fenómenos climáticos previstos e imprevistos:

- *Coordinación con otros sectores de transporte e infraestructura, las autoridades encargadas de hacer cumplir la ley y los servicios de respuesta ante emergencias.* La empresa East Japan Railway, por ejemplo, ofrece el uso de sus instalaciones como refugio temporal en caso de emergencias (véase la imagen 17.1). Los planes para emergencias deben incluir escenarios aleatorios de pérdida de otros servicios de infraestructura. En el caso de los sistemas ferroviarios urbanos, la colaboración estrecha con otros medios de transporte terrestre, especialmente los autobuses, es importante para garantizar la funcionalidad del sistema de transporte general.

IMAGEN 17.1. **Participantes de un simulacro para probar la capacidad como refugios de emergencia de las estaciones de trenes luego de un terremoto: Tokio (Japón)**

Fuente: © Newscom, Alamy. Reproducido con autorización; para su reutilización, es necesario obtener la autorización correspondiente.

- *Mecanismos presupuestarios y de adquisiciones que permitan responder a los incidentes sin comprometer las finanzas públicas.* Los operadores de transporte ferroviario urbano deben considerar la posibilidad de asegurar sus ingresos de operación contra los posibles impactos de los peligros climáticos y naturales, a fin de minimizar las pérdidas económicas y financieras si se produce un fenómeno de esta índole.
- *Protocolos de inspección y evaluación para comprobar la seguridad y la funcionalidad luego de un fenómeno climático, en los que se asigne prioridad a los lugares vulnerables conocidos y la infraestructura de importancia crítica.* La recuperación debe planificarse y realizarse en etapas. En general, los servicios temporales de autobuses y la operación parcial de la red constituyen la primera respuesta, seguida de la implementación de medidas estructurales a corto y largo plazo.
- *Mecanismos de acceso a bombas, grúas móviles y personal especializado de inspección, entre otros.* A fin de acelerar la recuperación, estos mecanismos deben implementarse antes de que ocurra un fenómeno climático.

Coordinación con los grupos de interés para incorporar la resiliencia en el desarrollo y la operación de ferrocarriles urbanos

Los grupos de interés de cada paso del desarrollo de un proyecto cumplen una función importante en la selección, la implementación y el éxito de las medidas de resiliencia (véase el cuadro 17.4). En las buenas prácticas internacionales de planificación de la resiliencia se hace hincapié en la participación y la organización de simulaciones y talleres multisectoriales basados en escenarios de peligros posibles. Mediante la planificación de escenarios, se pueden abordar las cuestiones de fondos, priorización y elaboración de presupuestos a nivel estratégico. El personal local y de operaciones necesitará saber que cuenta con fondos suficientes para responder a los fenómenos climáticos en su jurisdicción. Las simulaciones y los ensayos deben incluir a todos los grupos de interés que intervendrían en la planificación, la respuesta y la recuperación respecto de los fenómenos climáticos, no solo aquellas personas empleadas directamente por una organización ferroviaria. A nivel local, regional o nacional, tanto los socorristas como los organismos de respuesta ante situaciones de emergencias, los servicios hidrometeorológicos y otras empresas del sector privado desempeñan un papel importante en estas situaciones.

CUADRO 17.4. Resumen de las partes interesadas que participan en los diversos pasos del proceso de desarrollo de un proyecto ferroviario urbano

	Planificación del sistema y del corredor	Diseño preliminar y detallado	Adquisiciones y financiamiento	Construcción	Operación y mantenimiento
Responsable de la toma de decisiones (autoridad gubernamental)	✓	✓			
Autoridad ferroviaria		✓	✓	✓	✓
Responsable de la planificación o el diseño urbano	✓	✓	✓		
Contratista		✓	✓	✓	
Operador de transporte ferroviario					✓
Previsiones y seguimiento (por ejemplo, servicios hidrometeorológicos)		✓			✓
Inversionista		✓	✓	✓	✓
Seguro	✓	✓	✓	✓	✓
Equipos de respuesta ante situaciones de emergencia				✓	✓
Pasajeros					✓
Medios de comunicación					✓
Sociedad civil		✓			✓

Funciones del sector público

El Gobierno, tanto a nivel nacional como local, cumple una función importante en la coordinación de las diversas organizaciones públicas y privadas, incluidos los servicios de emergencia, antes, durante y después de un fenómeno climático. Según la escala del fenómeno, es posible que se asignen fondos públicos específicamente para la respuesta social y los procesos de recuperación en general. Sin embargo, los operadores de transporte ferroviario urbano deben contar con un marco adecuado de planificación financiera para garantizar que los sistemas

de transporte puedan recuperarse sin desviar fondos esenciales de otras áreas. Los Gobiernos establecen criterios mínimos aceptables de resiliencia y exigen su cumplimiento.

Un operador de transporte ferroviario controla la operación de los trenes, por ejemplo, los límites de velocidad, integrando los datos y previsiones (por ejemplo, lluvias, nieve, tormentas y viento) de los servicios hidrometeorológicos (que generalmente son organizaciones del sector público) y de sus propias estaciones de seguimiento ubicadas a lo largo de las vías. Por lo tanto, se necesitan mecanismos de coordinación entre el operador y estos organismos, que también son responsables de emitir directamente alertas de fenómenos climáticos de gravedad.

Funciones del sector privado

El sector privado cumple una función importante en todos los pasos del desarrollo de un proyecto ferroviario urbano, desde la creación de tecnologías nuevas e innovadoras que tienen el potencial de transformar los sistemas de infraestructura hasta la provisión de servicios y equipos después de un fenómeno climático. En el capítulo 9 se incluyen orientaciones sobre la participación del sector privado en la ejecución de proyectos ferroviarios urbanos. Los inversionistas, tanto públicos como privados, deben reconocer el imperativo económico de invertir en medidas de resiliencia demostrando el valor durante todo el ciclo de vida del proyecto. Los Gobiernos deben incentivar la inversión en resiliencia por parte del sector privado y desincentivar las inversiones no resilientes, y reducir las posibilidades de beneficiarse del ahorro de costos a corto plazo en perjuicio de la resiliencia a largo plazo. El sector privado debe reconocer la importancia de la colaboración con el sector público para garantizar la continuidad de las actividades y la resiliencia, ya que las empresas no pueden funcionar sin los sistemas de infraestructura de la ciudad, incluido el transporte ferroviario urbano. Numerosos medios de comunicación, entre los que se incluyen los medios sociales, son empresas del sector privado. Estos medios cumplen una función esencial en lo que respecta a informar, alertar y educar a las comunidades durante los fenómenos climáticos y después de estos, y para contrarrestar la información falsa e inexacta.

Los propietarios y los operadores de sistemas ferroviarios deben considerar la posibilidad de celebrar "convenios de apoyo previo" con empresas de ingeniería civil, mecánica y eléctrica para facilitar la recuperación. Por ejemplo, alquilar equipos para combatir inundaciones, como barreras móviles y bombas, puede ser más eficiente y eficaz en función de los costos que poseer y almacenar estos equipos de uso poco frecuente. Es posible que la recuperación se retrase debido a cuestiones previsibles como la escasez de grúas móviles, pero dicha escasez puede mitigarse a través de convenios con el sector privado.

Los operadores de transporte ferroviario también pueden obtener seguros contra peligros y catástrofes naturales y otros riesgos que enfrentan sus empresas. Como parte de las enseñanzas aprendidas a partir de la supertormenta Sandy, la MTA de Nueva York ahora cuenta con un seguro específico para ayudar a costear la recuperación tras marejadas meteorológicas y terremotos. Esta transferencia de riesgo de frecuencia baja e impacto alto al sector privado mejora considerablemente la capacidad de la MTA de gestionar su recuperación de los fenómenos climáticos. Los seguros contra eventos imprevistos durante la construcción también pueden aumentar la resiliencia de un proyecto de construcción para que comience a funcionar a tiempo.

Funciones de los círculos académicos

La resiliencia del transporte ferroviario urbano y todas las cuestiones que se tratan en este capítulo son temas nuevos, con conocimientos y conceptos que evolucionan y cambian constantemente. Las instituciones de investigación están a la vanguardia de esta corriente de pensamiento, y garantizan que las investigaciones se transformen en instrumentos y métodos que puedan ser utilizados por los especialistas.

La comunicación con el público

Por último, las personas y las comunidades, en especial los pasajeros de los sistemas ferroviarios urbanos, deben conocer y recibir información sobre las medidas de respuesta y recuperación antes, durante y después de un fenómeno climático. Las partes interesadas deben acordar los niveles de desempeño adecuados según la importancia crítica del sistema y la gravedad del peligro. Estas decisiones deben comunicarse a los usuarios finales, quienes tienen que prepararse para un período sin servicio. Se pueden utilizar modelos avanzados de redes para simular las posibles interrupciones que afectarán a los pasajeros.

Instrumentos para abordar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales

Existen numerosos instrumentos que pueden ayudar a abordar la resiliencia a los peligros climáticos y naturales, por ejemplo, la previsión y la evaluación de peligros, las herramientas de diseño, los análisis de la madurez, la evaluación de las interdependencias y las herramientas de gestión de activos adaptadas a la resiliencia. En esta sección se procura identificar otros instrumentos pertinentes que puedan contribuir a incorporar la resiliencia en los proyectos ferroviarios urbanos[14].

- *Las evaluaciones de la resiliencia de las ciudades* pueden ofrecer una visión global de la resiliencia de una ciudad en la que opera u operará un sistema ferroviario urbano, y pueden proporcionar información valiosa para

fundamentar la planificación y la toma de decisiones. La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) ha publicado un conjunto de recomendaciones e indicadores que las ciudades pueden aplicar para seguir y examinar los avances en la implementación de medidas de resiliencia (UNISDR, 2017). Otro ejemplo es el índice de resiliencia de las ciudades creado por la Fundación Rockefeller (Arup, 2014).

- *Los sistemas de gestión de activos* pueden adaptarse para abordar la resiliencia. La capacidad de presentar y cotejar datos en un entorno espacial como el SIG es especialmente útil para comparar el peligro, la vulnerabilidad y la importancia crítica (SmartRail World, 2016). Con estos sistemas de gestión, los operadores de transporte ferroviario pueden convertir los datos en conocimientos valiosos para fundamentar sus decisiones.
- *Los análisis de vulnerabilidad* pueden realizarse cotejando los datos sobre los peligros con los datos de los activos en un entorno SIG, con el respaldo de la comprensión técnica de las características de un activo (por ejemplo, tipo, condición y antigüedad) que contribuirán a la vulnerabilidad. Generalmente, estas evaluaciones se adaptan para un sistema de infraestructura específico, no son herramientas comerciales ni de código abierto disponibles en el mercado. Las evaluaciones de la importancia crítica habitualmente también son hojas de cálculo o evaluaciones en SIG adaptadas que reflejan los objetivos específicos del sistema que se evalúa.
- *La evaluación de la red* en términos de importancia crítica y redundancia puede ayudar a identificar los componentes esenciales del sistema que deben protegerse, por ejemplo, los posibles "puntos de estrangulamiento" donde pueden producirse congestiones o bloqueos, las interdependencias críticas con otras modalidades y otros sistemas de servicios urbanos (que pueden generar fallas en cascada), y las áreas con redundancia insuficiente en la red de transporte. Esta evaluación puede dar lugar al establecimiento de un sistema vital para mejorar las conexiones entre las distintas modalidades en la región metropolitana.
- *Las evaluaciones cuantitativas de riesgos* pueden ser realizadas por especialistas para determinar las posibles pérdidas (por ejemplo, los daños y sus costos, las posibles víctimas, o la interrupción del servicio) en caso de un peligro conocido y ante la probabilidad de que se produzca. Esta evaluación cuantitativa de riesgos puede ayudar a priorizar las intervenciones cuando existen limitaciones de presupuesto. Para estos análisis se necesitan datos detallados, incluido el tratamiento explícito de los peligros, la exposición y la vulnerabilidad, así como la modelización de la respuesta de los elementos de la infraestructura a los diferentes niveles de peligro.

- *Los criterios de planificación de la continuidad de las actividades* se definen en la norma ISO 22301, donde se establecen los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión para brindar protección, reducir las probabilidades de aparición y garantizar la recuperación con respecto a cualquier incidente que cause la interrupción de las actividades. Estos principios son tan relevantes para las organizaciones ferroviarias como para cualquier otro sector que afronte peligros naturales u otras posibles amenazas.

Conclusiones y recomendaciones

En los acuerdos internacionales sobre cambio climático se ha reconocido que el sector del transporte debe poner énfasis en las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático [Paris Process on Mobility and Climate (PPMC), 2016]. La adaptación y la mitigación pueden lograrse a través de varios de los principios presentados en este capítulo, lo que refleja la necesidad de crear resiliencia en relación con todos los peligros naturales, incluidos los peligros geofísicos y los peligros meteorológicos a corto plazo, no solo los impactos a largo plazo del cambio climático. En este capítulo se presentan muchos tipos de peligros climáticos y naturales que enfrentan los sistemas ferroviarios urbanos, y se examinan los instrumentos disponibles para evaluarlos y mitigarlos (se brindan detalles en los cuadros A17.1 a A17.4 del anexo). En esta última sección, se sintetizan las conclusiones principales.

La resiliencia debe considerarse en las primeras etapas de desarrollo de un proyecto, y se le debe prestar atención constante durante la operación. Un mensaje clave de este capítulo es la importancia de incorporar decisiones relacionadas con la resiliencia además de todas las consideraciones presentadas en este manual. La resiliencia no debe ser una idea de último momento, y las medidas de resiliencia no deben aislarse de otras decisiones claves. La adaptación al cambio climático y otros peligros naturales es más eficaz cuando se la incorpora en la renovación de activos en los proyectos existentes (véase el capítulo 13) o se la contempla al inicio en el caso de los proyectos nuevos (véase el capítulo 5). Por el contrario, el hecho de postergar las actividades de mantenimiento y renovación generará un aumento proporcional de la vulnerabilidad de los activos y sistemas; en otras palabras, un enfoque a corto plazo que solo considera los problemas actuales creará problemas futuros.

La colaboración intersectorial es fundamental para la resiliencia del transporte ferroviario urbano como parte de la interconexión de sistemas de infraestructuras de una ciudad. Este capítulo, si bien se centra en los sistemas ferroviarios urbanos, se basa en enseñanzas y enfoques aplicados en diferentes sectores de infraestructuras. Es esencial reconocer que un

sistema ferroviario resiliente existe dentro de un sistema de sistemas de infraestructuras más amplio, cuyo objetivo es permitir que la sociedad funcione. Por lo tanto, los propietarios y los operadores de sistemas ferroviarios urbanos deben reconocer la importancia de la colaboración intersectorial para aumentar la resiliencia, tanto en la planificación para los fenómenos climáticos imprevistos como en la respuesta a estos. Para los pasajeros, lo importante es el viaje de principio a fin y la funcionalidad del sistema en toda la ciudad.

La experiencia internacional indica que la inversión en medidas que aumentan la resiliencia de los sistemas ferroviarios urbanos se recupera cuando se producen peligros climáticos o naturales y, a la vez, puede mejorar la eficiencia y la seguridad del sistema ferroviario durante la operación normal. Existe una jerarquía de medidas para aumentar la resiliencia de los sistemas ferroviarios urbanos: la más simple es evitar el peligro, la siguiente consiste en minimizar o prevenir el impacto en caso de que el peligro ocurra, y la última es mitigar los impactos cuando no se puede evitar ni prevenir el peligro. Muchas de las medidas mencionadas en este capítulo —como los sistemas de alerta temprana o las innovadoras tecnologías resistentes a las inundaciones— representan las mejores prácticas en países de ingreso alto. Los organismos de ejecución de proyectos de países de ingreso bajo y medio, en particular aquellos que implementan nuevos sistemas ferroviarios urbanos, deben tratar de obtener enseñanzas de estos ejemplos de mejores prácticas que están surgiendo, como así también sumar su propia práctica. Asimismo, muchas medidas que aumentan la resiliencia a los peligros climáticos y naturales también mejoran la eficacia y la seguridad del sistema ferroviario durante la operación normal. Los sistemas modernos de control de trenes, por ejemplo, permiten dar una respuesta más inteligente, más rápida y más eficaz a las fallas de los activos. Además, ofrecen beneficios en términos de costo, seguridad y fiabilidad en condiciones normales.

La resiliencia de los sistemas ferroviarios depende tanto de la coordinación institucional y de las partes interesadas como de la resiliencia de la infraestructura física. En este capítulo se consideran principalmente las medidas técnicas e institucionales que pueden mejorar la resiliencia del sistema ferroviario propiamente dicho. Sin embargo, el carácter sociotécnico de un sistema ferroviario urbano debe mantenerse en primer plano. Los sistemas ferroviarios urbanos pueden contribuir al aumento de la prosperidad al ofrecer amplia disponibilidad, accesibilidad, asequibilidad y aceptabilidad (véase el capítulo 2). Un sistema ferroviario resiliente que puede continuar funcionando después de un peligro climático o natural aumentará la resiliencia de la sociedad a la que presta servicio, y una sociedad más resiliente podrá absorber un cierto nivel de interrupción de los servicios y adaptarse a este mientras se restablece el funcionamiento. Por lo tanto, es la resiliencia del sistema sociotécnico lo que evita que un fenómeno climático o natural se convierta en un desastre.

Anexo 17A. Peligros geofísicos, hidrológicos, meteorológicos y climatológicos, y sus impactos en el transporte ferroviario urbano

CUADRO 17A.1. Peligros geofísicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Terremoto	Temblor de tierra	Datos históricos y modelos; mapas regionales de riesgo sísmico, análisis probabilísticos de riesgo sísmico específicos del emplazamiento o la ruta (por ejemplo, Global Earthquake Model)[a]; alerta en un plazo muy corto (segundos) antes de que las ondas sísmicas lleguen a un receptor; no se realizan previsiones o pronósticos a corto plazo.	Sacudida del material rodante y posibles descarrilamientos; daños estructurales a los edificios (por ejemplo, estaciones y patio talleres) y a la infraestructura.	Anticiparse a través de sistemas de alerta temprana; planes de respuesta, incluida la evacuación; resistir a través del uso de parámetros adecuados en el diseño.
	Desprendimiento de tierras	Igual que en el caso de los desprendimientos de tierras no provocados por terremotos.	Igual que en el caso de los desprendimientos de tierras no provocados por terremotos.	Igual que en el caso de los desprendimientos de tierras no provocados por terremotos.
	Licuefacción	Evaluación geotécnica mediante el uso de mapas geológicos, datos históricos e investigaciones *in situ*; evaluación y previsión vinculadas con el temblor de tierra; no es posible emitir alertas tempranas de licuefacción debido a que esta es causada por el temblor de tierra.	Asentamiento del suelo debajo de vías o edificios que causa daños; desplazamiento u obstrucción de las vías y posibles descarrilamientos; deterioro de la calidad de marcha.	Resistir a través del uso de medidas de diseño adecuadas, como el mejoramiento de suelos.
	Ruptura de fallas en la superficie	Estudios geológicos y sismológicos especializados de las características de las fallas geológicas identificadas; no se pueden emitir alertas tempranas.	Deformación del suelo; desplazamiento u obstrucción de las vías y posibles descarrilamientos; daños a los edificios y la infraestructura.	Evitar (en las ubicaciones de las agujas); resistir o absorber a través del diseño.
Desprendimientos de tierras	Movimiento masivo	Seguimiento y elaboración de modelos mediante el uso de mapas geológicos, datos históricos e investigaciones *in situ*; la previsión a corto plazo puede ser posible, según la tasa de fallas.	Escombros en las vías; socavación de las vías; posibles descarrilamientos; costos de mantenimiento.	Evitar; resistir a través del uso de parámetros adecuados de diseño; realizar seguimiento (hidrometeorológico y climático), y responder.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 17A.1. Peligros geofísicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano *(Continuación)*

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Volcanes	Caída de cenizas; corriente de lava; corriente piroclástica; gases peligrosos	Evaluación mediante el uso de datos históricos, por ejemplo, del Programa de Vulcanismo Global y la Base de Datos de Volcanes del Mundo[b], y estudios especializados de volcanes específicos; es posible emitir alertas tempranas a través del seguimiento.	Daños estructurales; visibilidad reducida.	Resistir a través de medidas de diseño adecuadas; anticiparse mediante sistemas de alerta temprana; absorber mediante el establecimiento de restricciones de velocidad.
Tsunami	Inundaciones costeras; erosión y socavación; fuerzas de impacto del agua y los escombros	Alerta temprana a corto plazo (con 0-60+ minutos de antelación) una vez que se ha producido la ruptura de la falla en alta mar[c].	Daños estructurales a los edificios y la infraestructura de la costa; obstrucción o descarrilamiento de trenes; inundaciones en las vías, los edificios, la infraestructura y los sistemas; impactos debidos a la socavación o los escombros.	Evitar (terrenos elevados); anticipar mediante sistemas de alerta temprana; planes de respuesta, incluida la evacuación.
Hoyos	Apertura de huecos	Evaluación geológica mediante el uso de mapas geológicos, datos históricos e investigaciones *in situ*; no es posible realizar previsiones a corto plazo, pero se puede hacer un seguimiento de los factores desencadenantes.	Deformación de las vías; impacto del movimiento de tierras en los edificios y la infraestructura.	Anticipar mediante la evaluación del seguimiento; resistir a través del diseño.

a. Véase www.globalquakemodel.org.
b. Véase http://volcano.si.edu.
c. Véase https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/hazards/.

CUADRO 17A.2. Peligros hidrológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Aumento del nivel del mar	Inundaciones costeras	Modelos climáticos, como el modelo general de circulación, aplicados en combinación con modelos climáticos regionales para proporcionar información sobre los posibles cambios climáticos en una región determinada; las previsiones pueden cotejarse con observaciones a lo largo del tiempo[a].	Inundaciones de vías, edificios, infraestructura (incluidos túneles) y sistemas; corrosión.	Evitar las zonas costeras bajas; resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, barreras contra inundaciones, la elevación de los equipos de señalización y la elevación de estructuras, drenajes y bombas; absorber mediante la redundancia; adaptar, incluido el alejamiento a largo plazo de las zonas afectadas.
			Erosión en la costa y daños a los rompeolas.	Resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, rompeolas nuevos o renovados; absorber mediante el uso de infraestructura azul y verde, por ejemplo, crear humedales costeros como zonas de amortiguación.
			Daños a la infraestructura conectada, por ejemplo, subestaciones.	Evitar, resistir, absorber y responder; considerar la posibilidad de contar con un suministro de energía eléctrica independiente.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 17A.2. **Peligros hidrológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano** *(Continuación)*

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Inundaciones	Agua estancada; escorrentía superficial; inundaciones fluviales; elevación del nivel de las aguas subterráneas	La evaluación de la magnitud y la frecuencia a largo plazo y la previsión a corto plazo de inundaciones son posibles cuando se combinan con pronósticos meteorológicos; también pueden utilizarse análisis estadísticos de inundaciones anteriores e incorporar las repercusiones del cambio climático a nivel regional o nacional[b]; además, puede utilizarse el seguimiento hidrometeorológico y meteorológico, dado que las lluvias fuertes pueden desencadenar inundaciones.	Inundaciones de vías, patios de talleres, túneles, estaciones y equipos de señalización; daños a los sistemas eléctricos; presencia de escombros que deben retirarse.	Evitar las zonas con riesgo de inundaciones; resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, instalar barreras contra inundaciones, dispositivos de cierre automático, puertas herméticas; elevación de los equipos de señalización; elevación de las estructuras; incorporación de drenajes y bombas, y sellado de los equipos vulnerables; absorber mediante restricciones temporales de velocidad o redundancia; responder a través de alarmas de detección de inundaciones y barreras móviles contra inundaciones; recuperar almacenando los equipos y el material rodante en terrenos más altos; adaptar mediante la inclusión del alejamiento a largo plazo de las zonas afectadas; reubicar los equipos de zonas bajas; elevar las entradas a las estaciones; reducir la extensión de la infraestructura "gris" impermeable.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 17A.2. **Peligros hidrológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano** *(Continuación)*

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Inundaciones *(continuación)*			Socavación de los terraplenes; pérdida del soporte de la vía.	Anticiparse mediante el mantenimiento adecuado; recuperar a través de un mejor seguimiento de las condiciones del suelo luego de un fenómeno climático.
			Socavación de pilares o contrafuertes de puentes.	Resistir mediante el diseño (por ejemplo, utilizar materiales más duraderos); responder y recuperar a través de planes de inspección y seguimiento.
			Problemas en los drenajes (obstruidos o insuficientes).	Anticiparse a través del mantenimiento adecuado de los drenajes; absorber mediante el uso de bombas; diseñar nuevos drenajes adecuados para las inundaciones futuras previstas.
Inundaciones repentinas	Igual que en el caso de las inundaciones	Ocurren muy rápidamente, las previsiones a corto plazo no son fiables.	Igual que en el caso de las inundaciones	Igual que en el caso de las inundaciones

a. Véase, por ejemplo, http://slr-cities.climsystems.com/.
b. Véase, por ejemplo, http://documents.worldbank.org/curated/en/928051469466398905/pdf/WPS7765.pdf.

CUADRO 17A.3. Peligros climatológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Sequía	Reducción de la humedad del suelo; pérdida de vegetación	Datos históricos combinados con modelos que incorporen las predicciones del cambio climático a nivel regional o nacional, lo que podría indicar un aumento de la frecuencia; previsiones a corto y medio plazo.	Problemas de suelo debido a la desecación; desajuste de la catenaria debido a la contracción terreno alrededor de los cimientos; árboles en la línea; asientos en los terraplenes.	Resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, la elección del relleno en las explanaciones, el mejoramiento de suelos de los terraplenes, y la instalación de sensores en la línea; preparar mediante el mantenimiento periódico de la vegetación.
Incendios forestales	Llamas y humo	Se pueden identificar las condiciones que representan un mayor peligro; los factores desencadenantes no son previsibles.	Daños directos a los edificios y la infraestructura.	Resistir a través del diseño adecuado, por ejemplo, utilizar materiales resistentes al fuego; absorber mediante planes de respuesta, incluida la evacuación; responder a través de la planificación de la respuesta ante situaciones de emergencia, teniendo en cuenta que los servicios de bomberos locales pueden verse sobrecargados.
	Escombros en las vías	Al igual que en el caso de las sequías.	Interrupción de los servicios.	Absorber implementando restricciones de velocidad.
	Pérdida de la vegetación	Al igual que en el caso de las llamas y el humo.	Contracción de los terraplenes.	Al igual que en el caso de las sequías.

CUADRO 17A.4. Peligros meteorológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN[a]	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Marejadas meteorológicas	Acción de las olas e inundaciones costeras	Evaluación de la magnitud y la frecuencia de inundaciones a largo plazo; la previsión a corto plazo de inundaciones es posible cuando se combina con pronósticos meteorológicos.	Daños e inundaciones.	Resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, rompeolas, protección de los humedales costeros, barreras contra inundaciones, dispositivos de cierre automático, puertas herméticas, elevación de los equipos de señalización; planes de respuesta; véanse también las secciones sobre tsunamis, aumento del nivel del mar e inundaciones.
Lluvias intensas	Lluvia; escorrentía superficial; elevación del nivel de las aguas subterráneas; crecidas de los ríos, inundaciones.	Previsiones a corto plazo mediante pronósticos meteorológicos; tendencias a largo plazo derivadas de modelos climáticos, como el Modelo General de Circulación, aplicados en combinación con modelos climáticos regionales para brindar información sobre los posibles cambios en las precipitaciones.	Visibilidad reducida; erosión hídrica de los terraplenes; socavación del suelo; socavación de puentes; véase también la sección sobre inundaciones.	Absorber mediante, por ejemplo, restricciones temporales de la velocidad; resistir mediante parámetros adecuados de diseño y medidas como el aumento de la capacidad de drenaje; véase también la sección sobre inundaciones.
Tormentas eléctricas	Rayos	Previsiones a corto plazo mediante pronósticos meteorológicos.	Daños a la infraestructura, las vías y la vegetación; daños a los equipos eléctricos e interferencia.	Resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, la instalación de pararrayos y protección contra sobrecargas para los equipos eléctricos; preparar mediante el mantenimiento periódico de la vegetación; planes de respuesta.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 17A.4. **Peligros meteorológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano** *(Continuación)*

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN[a]	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Vendavales	Vientos fuertes	Previsiones a corto plazo mediante pronósticos meteorológicos; tendencias a largo plazo derivadas de modelos climáticos, como el Modelo General de Circulación, aplicados en combinación con modelos climáticos regionales para brindar información sobre los posibles cambios en una región determinada.	Daños a los equipos de la catenaria causados por la caída de árboles; obstrucciones en las vías; aumento de la caída de hojas en otoño; daños a los edificios y la infraestructura.	Resistir a través de parámetros de diseño adecuados, por ejemplo, barreras contra vientos y disyuntores para los equipos de la catenaria; preparar mediante el mantenimiento periódico de la vegetación; planes de respuesta, incluidos planes de evacuación.
Nieve, hielo, temperatura baja	Nieve, hielo; acción de los ciclos de helada y deshielo	Previsiones a corto plazo mediante pronósticos meteorológicos; tendencias a largo plazo derivadas de modelos climáticos, como el Modelo General de Circulación, aplicados en combinación con modelos climáticos regionales para brindar información sobre los posibles cambios de temperatura en una región determinada.	Fallas de los motores de tracción debido al ingreso de nieve; fallas en las agujas; acceso reducido para empleados y pasajeros (véase también la sección sobre inundaciones debidas al derretimiento de la nieve); fallas en taludes de rocas.	Resistir renovando los motores de tracción con modelos que tengan menos probabilidades de verse afectados por el ingreso de nieve; anticiparse mediante el seguimiento del estado de las agujas o la instalación de cubiertas protectoras; hacer circular los trenes durante la noche para mantener las vías libres de nieve; absorber mediante el plan de respuesta, que incluya comunicaciones de las rutas alternativas a las estaciones, el uso de sal o arena, descongeladores o palas quitanieves para facilitar el acceso; resistir a través de medidas de diseño adecuadas, por ejemplo, la instalación de redes protectoras, anclajes o pernos; planes de respuesta.

(El cuadro continúa en la página siguiente)

CUADRO 17A.4. Peligros meteorológicos y su impacto en la infraestructura del sistema ferroviario urbano *(Continuación)*

PELIGRO PRIMARIO	EFECTO	EVALUACIÓN O PREVISIÓN[a]	EJEMPLOS DE IMPACTOS EN LA INFRAESTRUCTURA	EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RESILIENCIA
Temperatura alta	Temperaturas elevadas y más olas de calor; expansión térmica de las vías.	Previsiones a corto plazo mediante pronósticos meteorológicos; tendencias a largo plazo derivadas de modelos climáticos, como el Modelo General de Circulación, aplicados en combinación con modelos climáticos regionales para brindar información sobre los posibles cambios en las precipitaciones en una región determinada.	Incomodidad de los pasajeros; estrés térmico de los trabajadores; recalentamiento de los equipos eléctricos; aflojamiento de la catenaria; aumento del número de días en los que no se puede realizar el mantenimiento de las vías; deformación y movimiento de las vías.	Resistir mediante el diseño de mejores sistemas de refrigeración para el material rodante, las infraestructuras subterráneas y los entornos de trabajo; preparar a través de la mejora de los sistemas para comunicar las alertas a los centros de despacho, empleados y estaciones; planes de respuesta, incluidas contingencias para temperaturas altas; absorber y recuperar a través de la planificación anticipada de las actividades de mantenimiento; resistir mediante el diseño; vías soldadas o vías en placa de hormigón; pintar los rieles de color blanco; anticipar mediante el mantenimiento, por ejemplo, liberación de tensión de las vías; absorber; imponer restricciones de velocidad.
Clima espacial, tormentas solares	Campos magnéticos fuertes que generan sobrecargas eléctricas; interferencias radioeléctricas	Previsiones a corto y medio plazo (de 30 minutos hasta 1 mes) mediante pronósticos[b]; también hay tendencias a largo plazo basadas en el ciclo solar de 11 años.	Daños a los equipos electrónicos; reducción de la precisión del sistema de posicionamiento global, en particular en latitudes altas; interrupciones en los equipos de señalización; impactos imprevistos.	Resistir, por ejemplo, con transformadores resilientes a las corrientes inducidas por campos geomagnéticos, líneas de transmisión más cortas; preparar a través de planes para apagar los equipos eléctricos si se prevé un fenómeno de gran magnitud e incrementar el número de repuestos almacenados; planes de respuesta.

a. El cambio climático influye en la gravedad, la frecuencia, la duración y la distribución espacial de todos los peligros meteorológicos.
b. Por ejemplo, de www.swpc.noaa.gov.

Notas

Los autores desean agradecer los valiosos aportes de los colegas de Arup, cuyos conocimientos y experiencias sobre proyectos ayudaron a elaborar este capítulo. Entre los autores que contribuyeron, se incluyen Hristo Dikanski, Matthew Dillon y John Dora. También brindaron apoyo Heima Miyake, Gillian Blake, Laura Evelyn-Rahr, Divya Bhanderi, Trystan Thornton, Sara Candiracci, Alyce Heeley y Liz Dunford. Asimismo, desean agradecer a Ramiro Alberto Ríos, Ramón Muñoz-Raskin, Georges Darido y Shomik Mehndiratta del Banco Mundial por sus aportes de contenido, y a los revisores Martha Lawrence, Kavita Sethi, Julie Rozenberg, Frederico Ferreira Fonse Pedroso y Artessa Saldivar-Sali del Banco Mundial, y Juan Antonio Márquez Picón del Metro de Madrid por compartir sus conocimientos especializados y sus críticas constructivas durante la elaboración de este capítulo. Por último, desean agradecer al Programa del Banco Mundial y Japón para Integrar la Gestión de Riesgos de Desastre en los Países en Desarrollo por su apoyo financiero para este capítulo, y a Naho Shibuya por su apoyo administrativo y en materia de contenidos y la coordinación de los comentarios críticos durante toda la elaboración de este capítulo.

1. Si bien en este capítulo no se abordan las amenazas maliciosas y la seguridad, los impactos de tales amenazas y los medios para permitir la recuperación rápida generalmente son similares a lo que se analiza en este capítulo con respecto a los peligros climáticos y naturales.
2. La decisión de no invertir en medidas de resiliencia se traduciría en la pérdida de los posibles beneficios futuros (por ejemplo, la continuación de la operación durante un fenómeno climático extremo y después de este).
3. Debe hacerse una distinción entre los fenómenos repentinos, generalmente denominados *tensiones*, y los cambios a largo plazo o *crisis*. El cambio climático, en particular, puede presentar una *crisis*, por ejemplo, veranos más largos y calurosos, o tensiones, como tormentas fuertes.
4. Los peligros meteorológicos son peligros relacionados con las condiciones atmosféricas durante un período breve, mientras que los peligros climatológicos están vinculados con la manera en que la atmósfera se comporta durante varias décadas. Para obtener más información, véanse las definiciones de la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja en *Types of Disasters: Definition of Hazard* (http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/definition-of-hazard/).
5. Para obtener información sobre la herramienta ThinkHazard!, véase http://thinkhazard.org.
6. Idealmente, para este análisis habrá información disponible sobre peligros correspondiente a toda la ciudad; sin embargo, en los países de ingreso bajo y medio, quizás sea necesario llevar a cabo evaluaciones sobre peligros específicos durante la planificación del proyecto. En los países de ingreso bajo y medio, la incertidumbre epistémica también puede reducirse a través de la mejora de los conocimientos y la capacidad.
7. El término "infraestructura existente" se utiliza generalmente para definir los sistemas de infraestructuras en funcionamiento, que normalmente se han construido hace mucho tiempo, como el metro de Londres, partes del cual datan de mediados del siglo xix.
8. La serie ISO 55000 proporciona una especificación de requisitos de 28 puntos para establecer sistemas de gestión del ciclo de vida completo de todos los tipos de activos físicos. También se puede obtener información en el Instituto de Gestión de Activos del Reino Unido.
9. Para obtener información sobre DDC, véase https://www.cadd.global, y sobre recursos de fortalecimiento de la capacidad, véase https://www.worldbank.org/en/data/statistical-capacity-building.
10. La infraestructura *gris* se refiere a las estructuras de ingeniería tradicionales, como drenajes y alcantarillas; la infraestructura *azul* se refiere a los elementos del paisaje vinculados con el agua, como los ríos y canales, y la infraestructura *verde*, a los elementos del paisaje relacionados con la vegetación, como la cubierta vegetal o los árboles para evitar la erosión.
11. Las propiedades emergentes surgen cuando se combinan varios elementos simples, lo que genera un sistema que tiene propiedades que los elementos por sí solos no poseen.
12. Para obtener orientación sobre eficiencia energética, véase Unión Internacional de Transporte Público (2014).

13. La serie ISO 55000 proporciona una especificación de requisitos de 28 puntos para establecer sistemas de gestión del ciclo de vida completo de todos los tipos de activos físicos.
14. Los instrumentos de toma de decisiones y las orientaciones disponibles para determinar las necesidades y las opciones de adaptación para el transporte ferroviario urbano se resumen en Eichhorst (2009), donde se presenta un marco de siete pasos para adaptar el transporte al cambio climático y una lista de comprobación práctica para los responsables de la toma de decisiones.

Bibliografía

Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change (ARISCC) (2011), Informe final (6.ª versión preliminar), Berlín, https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20150811_132352_32476_Adaptation_of_Railway_Infrastructure.pdf

Armstrong, John, Ian Hood y John Preston (2017), "Adapting Railways to Provide Resilience and Sustainability", en *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability* 170 (4): pp. 225-34.

Arup (2014), *City Resilience Framework*, Arup International Development, Londres, 10 de abril.

Booth, Rupert (2012), "Risk Planning for Interdependencies: From Theory to Practice", en *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer* 165 (2): pp. 85-92.

Brabhaharan, Pathmanathan (2006), "Recent Advances in Improving the Resilience of Road Networks", presentado en la conferencia de 2006 *Reducing Risk, Raising Resilience*, New Zealand Society of Earthquake Engineering, Christchurch, 1 al 3 de abril.

Comité Europeo de Normalización (2007), *European Standards EN 1990 to EN 1999 Eurocodes*, Comisión Europea, Bruselas, http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/.

Deloukas, Alexandros y Efthymia Apostolopoulou (2017), "Static and Dynamic Resilience of Transport Infrastructure and Demand: The Case of the Athens Metro", en *Transportation Research Procedia* 24: pp. 459-66.

Eichhorst, Urda (2009), "Module 5f. Adapting Urban Transport to Climate Change", en *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities,* Eschborn, Alemania: GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GmbH), http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB5_Environment%20and%20Health/GIZ_SUTP_SB5f_Adapting-Urban-Transport-to-Climate-Change_EN.pdf.

Fekete, Alexander (2011), "Common Criteria for the Assessment of Critical Infrastructure", en *International Journal of Disaster Risk Science* 2 (1): pp. 15-24.

Frontier Economics (2012), "Systemic Risks and Opportunities in UK Infrastructure: A Report Prepared for HM Treasury and Infrastructure UK", en *Frontier Economics*, Bruselas, enero.

El Tesoro de Su Majestad (2013), *The Green Book, Appraisal and Evaluation in Central Government*, Londres: El Tesoro de Su Majestad. https://www.gov.uk/government/publications/the-green-book-appraisal-and-evaluation-in-central-governent

International Centre for Infrastructure Futures (ICIF) (2014), *Investigation into the Development of a Framework for the Identification and Appraisal of Infrastructure Interdependencies with Application to Critical UK Infrastructure: Technical Report for Infrastructure UK*, ICIF, Universidad de Brighton, Reino Unido.

Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (2007), *Standard Specifications and Guidelines*, Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles, Tokio.

Leichenko, Robin, David C. Major, Katie Johnson, Lesley Patrick y Megan O'Grady (2010), "An Economic Analysis of Climate Change Impacts and Adaptations in New York State", en *Responding to Climate Change in New York State (ClimAID)*, Anexo III, Estado de Nueva York.

Lyons, Glenn y Cody Davidson (2016), "Guidance for Transport Planning and Policymaking in the Face of an Uncertain Future", *en Transportation Research Part A: Policy and Practice* 88 (junio): pp. 104-16.

Equipo de Trabajo para la Adaptación al Clima de la Autoridad Metropolitana de Transporte (MTA) (2017), *MTA Climate Adaptation Task Force Resiliency Report*, MTA, Nueva York. https://new.mta.info/document/10456

Academia Nacional de Ciencias (2012), *Disaster Resilience: A National Imperative*, Washington, DC: National Academies Press, https://www.nap.edu/catalog/13457/disaster-resilience-a-national-imperative.

Consejo Asesor de Infraestructura Nacional (NIAC) (2010), *A Framework for Establishing Critical Infrastructure Resilience Goals*, Washington, DC: NIAC. https://www.cisa.gov/publication/niac-framework-establishing-resilience-goals-final-report

Paris Process on Mobility and Climate (PPMC) (2016), *COP22 Declaration on Accelerated Adaptation in Transport*, PPMC, Marrakech, 17 de noviembre, http://www.ppmc-transport.org/cop22-declaration-on-accelerated-action-on-adaptation-in-transport/.

Instituto de Investigación Técnica Ferroviaria (2015), *Railways and Natural Disasters: Protection of Railways and Disaster Mitigation from Natural Disasters* , Instituto de Investigación Técnica Ferroviaria, Tokio.

Ríos, Ramiro A., Georges Darido, Ramón Muñoz-Raskin y Daniel Pulido (2017), "Resilience in Urban Transport: What Have We Learned from Super Storm Sandy and the New York City Subway?", *Transport for Development Blog*, Banco Mundial, https://blogs.worldbank.org/transport/resilience-urban-transport-what-have-we-learned-super-storm-sandy-and-new-york-city-subway

Real Academia de Ingeniería (2011), *Engineering the Future. Infrastructure, Engineering, and Climate Change Adaptation: Ensuring Services in an Uncertain Future*, documento de políticas, Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales, Londres. https://www.raeng.org.uk/publications/reports/engineering-the-future

Junta de Normas y Seguridad Ferroviaria (RSSB) (2016), *Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation: Final Report*, RSSB, Londres. https://catalogues.rssb.co.uk/research-development-and-innovation/research-project-catalogue/t1009

Schweikert, Amy, Paul Chinowsky, Xavier Espinet y Michael Tarbert (2014), "Climate Change and Infrastructure Impacts: Comparing the Impact on Roads in Ten Countries through 2100", en *Procedia Engineering*, 78: pp. 3016-316.

SmartRail World (2016), *A Practical Guide: Asset Management for Rail and Metro,* Kongsvinger, Suecia: SmartRail World.

Theoharidou, Marianthi, Panayiotis Kotzanikolaou y Dimitris Gritzalis (2009), "Risk-Based Criticality Analysis", en *Critical Infrastructure Protection III: Third IFIP WG 11.10 International Conference, Hanover, New Hampshire, Estados Unidos, 23 al 25 de marzo de 2009, documentos seleccionados revisados*, editados por Charles Palmer y Sujeet Shenoi, Berlín: Springer.

Unión Internacional de Transporte Público (UITP) (2014), *Energy Efficiency: Contribution of Urban Rail Systems*, UITP, Bruselas. https://www.uitp.org/energy-efficiency-contribution-urban-rail-systems

Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido (2011), *Thames Estuary 2100 (TE2100): How the Environment Agency Is Planning to Manage the Tidal Flood Risk in the Thames Estuary until the Year 2100*, documento de políticas, Agencia de Medio Ambiente, Londres, 7 de agosto.

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR) (2012), *Towards a Post-2015 Framework for Disaster Risk Reduction*, UNISDR, Ginebra, http://www.unisdr.org/files/25129_towardsapost2015frameworkfordisaste.pdf.

———. (2014), *Brazil's São Paulo State Recognized by UN for Pioneering Work in Building Urban Resilience to Disasters*, UNISDR, Ginebra, 13 de diciembre, https://www.unisdr.org/archive/40966.

———. (2017), "Toolkit: Guides, Apps, Reports, and References", campaña *Making Cities Resilient: My City Is Getting Ready*, UNISDR, Ginebra, https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/home/toolkit.

Banco Mundial (2012), *Transformation through Infrastructure: World Bank Group Infrastructure Strategy Update FY 2012-2015*, Banco Mundial, Washington, DC.

———. (2017a), *Climate and Disaster Resilient Transport in Small Island Developing States: A Call for Action*, Washington, DC: Banco Mundial. https://www.gfdrr.org/en/publication/climate-and-disaster-resilient-transport-small-island-developing-states-call-action

———. (2017b), *A New Partnership to Enhance the Climate Resilience of Transport Infrastructure*, Banco Mundial, Washington, DC. https://blogs.worldbank.org/transport/new-partnership-enhance-climate-resilience-transport-infrastructure

Xia, Yuanni, Jos N. Van Ommeren, Piet Rietveld y Willem Verhagen (2013), "Railway Infrastructure Disturbances and Train Operator Performance: The Role of Weather", en *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 18 (enero): pp. 97-102.

Lecturas adicionales

Bosher, Lee, Andrew Dainty, Patricia Carrillo, Jacqueline Glass y Andrew Price (2007), "Integrating Disaster Risk Management into Construction: A UK Perspective", en *Building Research & Information* 35 (2): pp. 163-77.

Dalkmann, Holger y Charlotte Brannigan (2007), "Module 5e. Transport and Climate Change", en *Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities*, Eschborn, Alemania: GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GmbH), http://lib.icimod.org/record/13155/files/5302.pdf.

Earthquakes and Megacities Initiative (EMI) (2015), *Urban Resilience Master Planning: A Guidebook for Practitioners and Policymakers*, Ciudad Quezón, Filipinas: EMI. https://emi-megacities.org/?emi-publication=urban-resilience-master-planning-a-guidebook-for-practitioners-and-policymakers

Hallegate, Stephane, Adrien Vogt-Schilb, Mook Bangalore y Julie Rozenberg (2016), *A Diagnosis: The Global Impacts of Natural Disasters on Well-Being Are Underestimated*, Banco Mundial, Washington, DC.

———. (2017), *Unbreakable: Building the Resilience of the Poor in the Face of Natural Disasters*, Serie de Cambio Climático y Desarrollo, Washington, DC: Banco Mundial.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (2014), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (Part B: Regional Aspects), Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/

Nakamura, Tomohisa (2011), *Countermeasures for Earthquakes at JR East and Effect of Countermeasures*, Conferencia Internacional sobre Seguridad Ferroviaria, Melbourne, 16 al 21 de octubre.

Banco Mundial (2012), *Investment Decision Making Under Deep Uncertainty—Application to Climate Change*, Banco Mundial, Washington, DC. https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/1813-9450-6193

Otros recursos

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO).

Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change (ARISCC): http://www.ariscc.org/.

Management of Weather Events in the Transport System (MOWE-IT): http://www.mowe-it.eu.

SuRe®, Estándar para la Sustentabilidad y la Infraestructura Resiliente. https://sustainable-infrastructure-tools.org/tools/sure-standard/

Proyecto RailAdapt de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC). https://uic.org/IMG/pdf/railadapt.pdf

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de: http://www.unisdr.org/files/42926_090315wcdrrpspepublicationfinalonli.pdf.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). https://unfccc.int/

Portal de conocimientos sobre cambio climático del Grupo Banco Mundial. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/

Herramienta *ThinkHazard!* del Grupo Banco Mundial: http://thinkhazard.org.

"El *Manual para el desarrollo* de ferrocarriles urbanos brinda a los planificadores y responsables de la toma de decisiones políticas una visión integral de una de las inversiones más importantes —o quizás la más importante— que una ciudad puede realizar: un sistema ferroviario urbano. El manual parte de la premisa de que el transporte ferroviario urbano es solo un componente de un sistema de transporte jerárquicamente integrado, y presenta orientación práctica sobre cómo ejecutar y operar de manera multimodal los proyectos ferroviarios urbanos a fin de maximizar beneficios que van mucho más allá de la movilidad. Este manual es imprescindible para todas las personas que intervienen en la planificación y la toma de decisiones de una línea ferroviaria urbana".

—**Arturo Ardila-Gómez,** *experto mundial en movilidad urbana y economista principal de Transporte, Banco Mundial*

"El *Manual para el desarrollo de ferrocarriles urbanos* aborda los desafíos técnicos y sociales inherentes a la planificación, el diseño, el financiamiento, las adquisiciones, la construcción y la operación de los proyectos ferroviarios en zonas urbanas. Es un excelente complemento de publicaciones más técnicas sobre tecnología, infraestructura y ejecución de proyectos en el ámbito ferroviario. En este manual se brindan consejos prácticos para la ejecución de megaproyectos urbanos, tomando en cuenta el contexto social, institucional y económico en el que se desarrollan".

—**Martha Lawrence,** *jefa de la Comunidad de Prácticas de Transporte Ferroviario y especialista superior en Transporte Ferroviario, Banco Mundial*

"Entre las diversas opciones que una ciudad puede considerar para mejorar el acceso a oportunidades y movilidad, el transporte ferroviario urbano destaca por su impacto potencial pero también por su elevado costo. Lograr resultados apropiados y, al mismo tiempo, garantizar una función transformadora para el desarrollo urbano constituye un desafío complejo y polifacético que se aborda magníficamente en este manual mediante un intercambio detallado y práctico de importantes enseñanzas aprendidas en lo que respecta a la planificación, ejecución y operación de líneas ferroviarias urbanas".

—**Gerald Ollivier,** *jefe de la Comunidad de Prácticas de Desarrollo orientado al Tránsito, Banco Mundial*

"El transporte público, como eje de la movilidad en las ciudades, permite lograr comunidades más inclusivas, un mayor nivel de desarrollo económico, mejores condiciones de vida y salud, y estilos de vida activos para los habitantes, a la vez que mejora la calidad del aire y la habitabilidad. Mediante la síntesis y la difusión de buenas prácticas y ejemplos concretos a nivel internacional, este manual ayudará a los responsables de la toma de decisiones a analizar las principales cuestiones que determinan el éxito de los proyectos ferroviarios urbanos, a fin de liberar el potencial de las áreas metropolitanas".

—**Dionisio González,** *director de Promoción y Difusión, Unión Internacional de Transporte Público*

"Los conocimientos y la experiencia que se transmiten mediante este manual facilitan la comprensión de diferentes perspectivas y objetivos pertinentes para el desarrollo de proyectos ferroviarios urbanos. Los operadores de los sistemas ferroviarios urbanos actuales pueden utilizar este manual como una herramienta para fortalecer sus instituciones y reforzar sus servicios. Los especialistas y responsables de la toma de decisiones pueden utilizar este documento para promover nuevos proyectos y lograr resultados importantes gracias a una comprensión cabal de lo que corresponde hacer, teniendo en cuenta distintos puntos de vista. El estilo de redacción de este manual es accesible para diversas audiencias, ya que se ofrecen recomendaciones claras seguidas de ejemplos de la vida real".

—**Juan Antonio Márquez Picón,** *gestor de Desarrollo de Negocios Internacionales, Metro de Madrid*

ISBN 978-1-4648-1596-6

SKU 211596

GRUPO BANCO MUNDIAL