



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DE MOVILIDAD

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO
METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO
LEGAL Y FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN
EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE
PUBLICO-SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**PRODUCTO N° 12:
EVALUACIÓN EX-POST DE EXPERIENCIAS PROYECTO METRO
ANÁLISIS COMPARADO DE EXPERIENCIAS METRO
Y LECCIONES APRENDIDAS**

MB-GC-ME-0012G

Rev. 0. Septiembre 2009



TITULO DEL DOCUMENTO: *EVALUACIÓN EX-POST DE EXPERIENCIAS PROYECTO METRO. ANÁLISIS COMPARADO DE EXPERIENCIAS METRO Y LECCIONES APRENDIDAS.*

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0012G

Referencia: P210C25

Fichero: MB - Producto 12 - Benchmarking COMP-v20090930.docx

Revisión número: 0 Fecha revisión: Septiembre 2009

	Nombre	Firma	Fecha
Realizado por	Matías Ramírez		Septiembre 2009
	Sergi Tió		
	Gonzalo Tovar		
	Isa Cano		
	Anna Muro		
Verificado por	José Enrique Pérez		Septiembre 2009
Aprobado por	Luis M. San Martín		Septiembre 2009
	Esteban Rodríguez		



REGISTRO DE CAMBIOS

REV.	FECHA	SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO	INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO
0	Septiembre 2009	TODOS	DOCUMENTO INICIAL

ÍNDICE

0	INTRODUCCIÓN	6
0.1	Antecedentes	7
0.2	Estructuración del documento	16
0.3	Glosario de términos.....	18
1	CONTEXTO INICIAL	19
2	EJE 1: CARACTERIZACIÓN FÍSICA E INFRAESTRUCTURAL	20
2.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados a la caracterización física e infraestructural	20
2.2	Fortalezas y debilidades asociadas a la infraestructura de los sistemas metro analizados	30
3	EJE 2: ANÁLISIS OPERACIONAL.....	32
3.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados a la operación del sistema	32
3.2	Fortalezas y debilidades asociadas a la operación de los sistemas metro analizados	48
4	EJE 3: ANÁLISIS INSTITUCIONAL Y ORGANIZACIONAL.....	50
4.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al esquema institucional y organizacional del sistema	50
4.2	Fortalezas y debilidades asociadas al esquema institucional y organizacional de los sistemas metro analizados	53
5	EJE 4: ANÁLISIS NORMATIVO Y CONTRACTUAL	55
5.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al análisis normativo y contractual del ente operador	55
5.2	Fortalezas y debilidades asociadas a los aspectos normativos y contractuales de los sistemas metro analizados	57
6	EJE 5: ANÁLISIS DEL IMPACTO URBANÍSTICO	58
6.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al impacto urbanístico	58
6.2	Fortalezas y debilidades asociadas al desarrollo urbanístico a los sistemas metro analizados.....	65

7	EJE 6: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	66
7.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al impacto ambiental ..	66
7.2	Fortalezas y debilidades asociadas al impacto ambiental derivado de la explotación de los sistemas metro analizados	74
8	EJE 7: ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO	76
8.1	Análisis comparado de las características asociadas al impacto socioeconómico de los sistemas.....	76
8.2	Fortalezas y debilidades asociadas al impacto socioeconómico de los sistemas metro analizados.....	80
9	EJE 8: ANÁLISIS FINANCIERO	81
9.1	Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al análisis financiero...81	
9.2	Fortalezas y debilidades asociadas al análisis financiero de los sistemas metro analizados	88
10	EJE 9: ACCIONES EN BRANDING, COMUNICACIÓN Y MARKETING	90
10.1	Análisis comparado de las variables e indicadores relacionadas con las acciones en branding, comunicación y marketing en los sistemas de metro.....	90
10.2	Fortalezas y debilidades asociadas a las acciones en branding, comunicación y marketing de los sistemas metro analizados	95
11	LECCIONES APRENDIDAS PARA EL DESARROLLO DEL METRO DE BOGOTÁ.....	96

0 INTRODUCCIÓN

El objeto del presente documento consiste en la realización de una evaluación comparada de los distintos sistemas de transporte público masivo de pasajeros tipo metro operados en las ciudades de Madrid, Santiago de Chile, São Paulo, México, París y Londres. En concreto, se lleva a cabo una comparación tanto cualitativa como cuantitativa de dichos sistemas como parte del estudio integral de las diferentes experiencias metro internacionales, en el marco del Producto 12.

Con este objetivo, el Grupo Consultor elaboró una metodología particularizada de evaluación de los distintos sistemas metro, tomando como base los lineamientos definidos para la presentación del día 18 de marzo de 2009 realizada a la Alcaldía de Bogotá y sus Secretarías Distritales, a la Interventoría, al Gobierno Nacional y a los Bancos Multilaterales que intervienen en el Proyecto: Banco Mundial y Banco Interamericano de Desarrollo.

De acuerdo a dicha metodología, los documentos presentados en las entregas correspondientes al Producto 12 caracterizan de manera detallada un total de 6 experiencias de sistema metro internacionales. A partir de dicho trabajo, se ha desarrollado el presente documento, el cual se estructura a través de la presentación de las características, variables e indicadores de operación asociados a las diferentes experiencias, valorándose las fortalezas, debilidades inidentificadas, para finalmente derivar el análisis en un conjunto de lecciones aprendidas y recomendaciones de utilidad para el desarrollo de un sistema metro en la ciudad de Bogotá.

0.1 Antecedentes

Previo realización del presente documento de análisis comparado y lecciones aprendidas, el desarrollo del Producto 12 ha consistido en la elaboración de un conjunto de tomos, cada uno de los cuales describe de forma detallada las diferentes experiencias proyecto metro seleccionadas.

Cada una de estas experiencias ha sido analizada en base a una metodología de evaluación estructurada en diferentes ejes de análisis, enfocados a caracterizar diferentes aspectos asociados a los sistemas de transporte público masivo tipo metro.

0.1.1 Experiencias proyecto metro seleccionadas para el estudio

A continuación, se exponen los 6 sistemas metro escogidos conjuntamente por la Interventoría y el Grupo Consultor (Madrid, Santiago de Chile, São Paulo, México, París y Londres), resaltándose aquellas características y aspectos diferenciales que motivaron su selección para la realización del estudio.

Figura 0-1. Plano de ubicación de las ciudades seleccionadas con sistema metro



- Metro de Madrid: Dicha experiencia ha sido seleccionada atendiendo al nivel de expansión del sistema acontecido durante los años 1995 y 2007, período en el cual se incrementó la extensión de la red en más de 150 kilómetros, un crecimiento del 134.7%. Dicha extensión supuso la puesta en servicio de 4 nuevas líneas y el desarrollo de ampliaciones en la mayoría de servicios existentes hasta el momento

Figura 0-2. Plano esquemático de la red de metro de la ciudad de Madrid (2008)



Fuente: Metro de Madrid

- Metro de Santiago de Chile: El sistema de metro de la capital chilena ha sido considerado en el estudio debido a que la ciudad dispone, como una de las opciones de transporte, de Transantiago, de un BRT liviano, con especificaciones operacionales y de infraestructura menores a las de Transmilenio. No obstante, los elementos integrantes del sistema de transporte no han sido implementados en el mismo orden que se implementarían en el caso de Bogotá

Asimismo, también ha sido un elemento de selección la autosostenibilidad operacional que ha caracterizado el sistema de transporte metro de la ciudad de Santiago de Chile

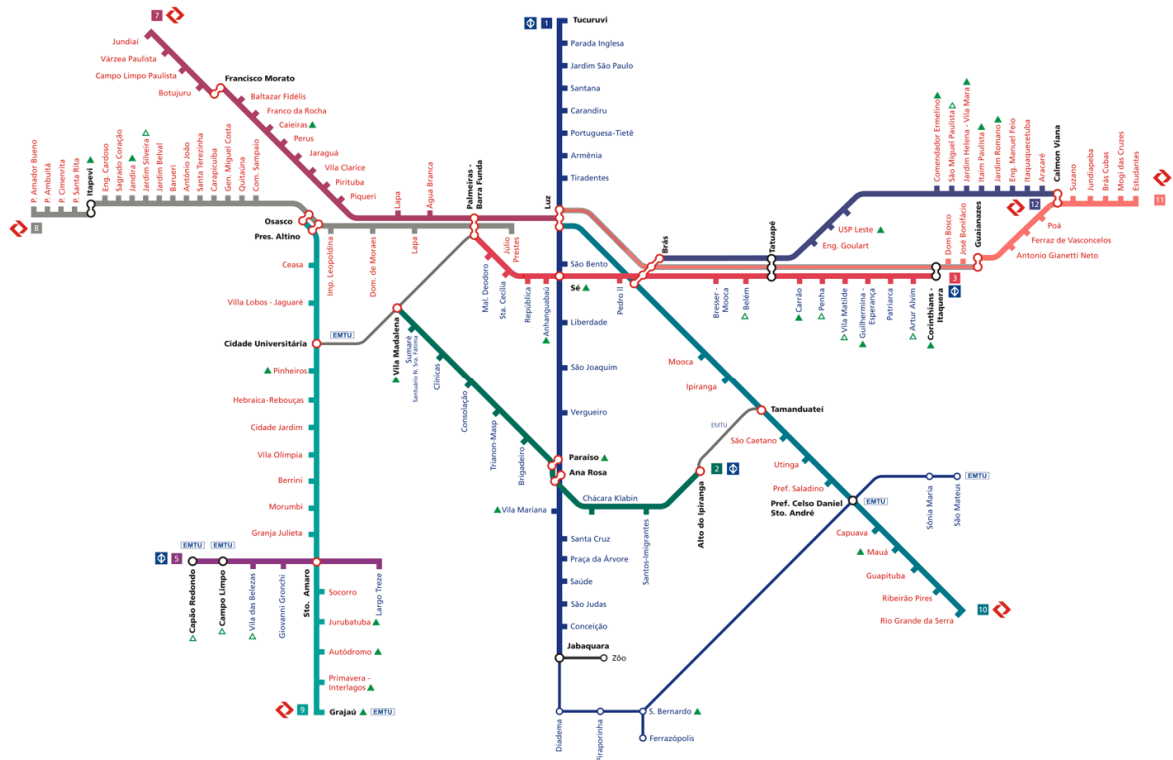
Figura 0-3. Plano esquemático de la red de metro de la ciudad de Santiago de Chile (2008)



Fuente: Metro S.A.

- Metro de São Paulo: El sistema metro de esta ciudad brasileña fue escogido debido a sus elevadas posibilidades de crecimiento, aspecto que le permite ser un punto de referencia a una red en proyección como la que se debe elaborar para la ciudad de Bogotá

Figura 0-4. Plano esquemático de la red de metro de la ciudad de São Paulo (2008)



Fuente: Companhia Paulista de Trens Metropolitanos

- Metro de Ciudad de México: Esta experiencia se ha tenido en cuenta debido a su elevada extensión de red, la mayor de América Latina, así como por tratarse del sistema de transporte masivo tipo metro más económico del mundo

Adicionalmente, cabe destacar la problemática geológica existente, y los requerimientos infraestructurales que ello supuso para su ejecución, en particular las soluciones adoptadas para mitigar dichas deficiencias en la ejecución de la red

Figura 0-5. Plano esquemático de la red de metro de la ciudad de México DF (2008)

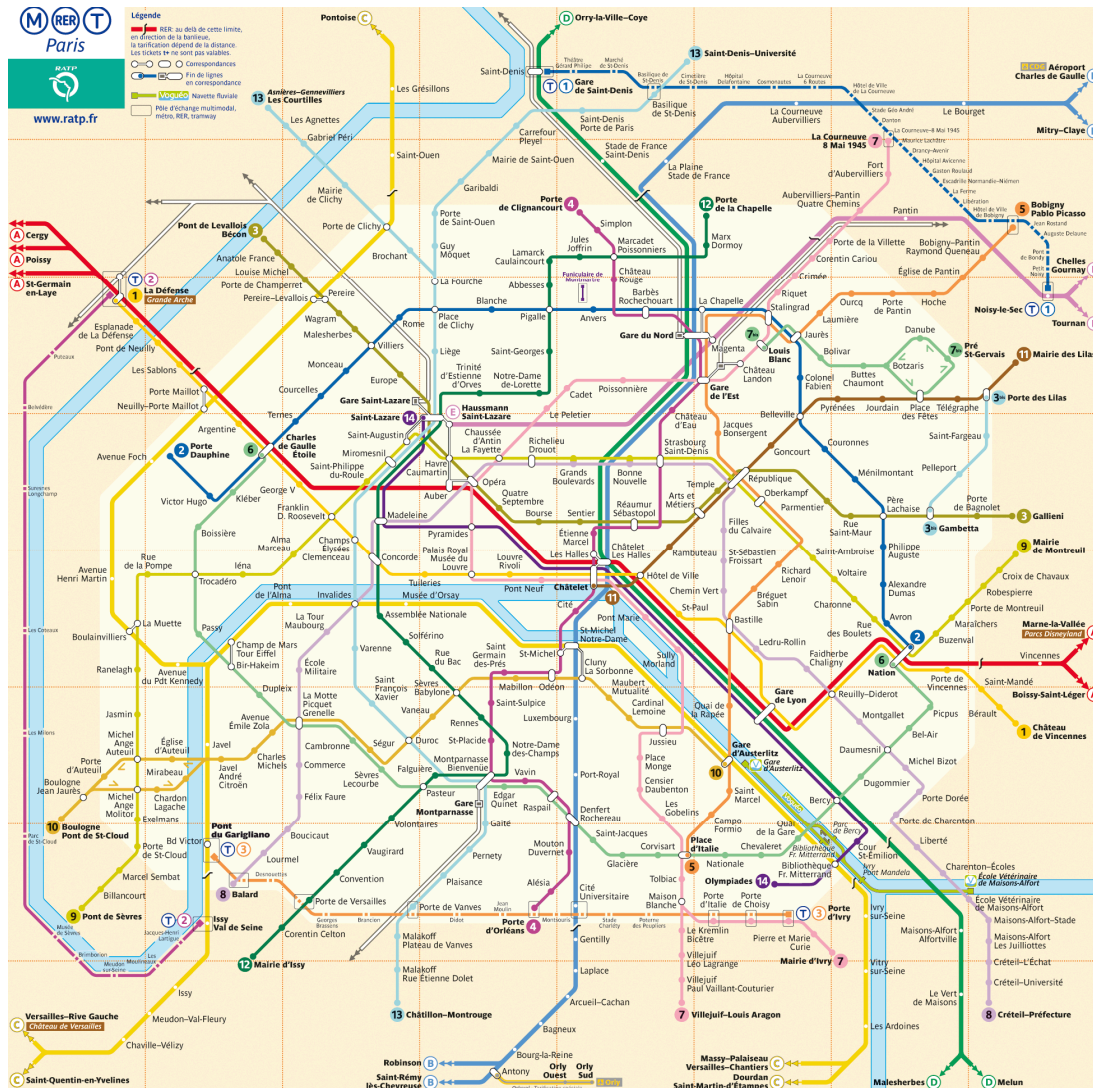


Fuente: STC Metro

- Metro de París: Este caso ha sido considerado en el benchmarking de experiencias metro realizado por tratarse de uno de los sistemas de transporte masivo de alta capacidad más densos del mundo, con un elevado grado de concentración de infraestructura en el núcleo central de la ciudad

Asimismo, la selección de este sistema como caso de análisis ha tenido en cuenta el marco de integración interregional en que se opera, destacándose su integración con la red de transporte regional RER

Figura 0-6. Plano esquemático de la red de metro de la ciudad de París (2008)



Fuente: RATP

- Metro de Londres: La selección de la experiencia de la capital británica, sistema de transporte masivo tipo metro más antiguo del mundo, ha tenido como objetivo el poder analizar el impacto urbanístico asociado a la implantación de un sistema de transporte masivo en una zona urbana, concretamente los desarrollos inmobiliarios asociados al desarrollo de los diferentes puntos de acceso al sistema o estaciones

Figura 0-7. Plano esquemático de la red de metro de la ciudad de Londres (2008)



Fuente: Transport for London

0.1.2 Presentación de la metodología de caracterización

La metodología de caracterización de las experiencias metro seleccionadas para el benchmarking se ha estructurado bajo un doble objetivo:

1. Cubrir las diferentes áreas disciplinares características de la operación del sistema de transporte público masivo tipo metro: prácticas y mecanismos vigentes y probados por la experiencia
2. Alcanzar un nivel de análisis lo más detallado posible para cada uno de los aspectos tratados dentro de cada área de análisis, en función de la disponibilidad de información suministrada por los operadores del sistema y entes relacionados, así como de la revisión de información secundaria

Dicha metodología se articula en un punto de partida o contexto inicial asociado a la puesta en servicio del sistema y los nueve ejes multidisciplinares de análisis presentados a continuación:

Figura 0-8. Ejes de análisis para la caracterización



Fuente: Elaboración propia

Este planteamiento supone la obtención exhaustiva de información de detalle mediante la caracterización (cuantitativa y cualitativa) de diferentes variables e indicadores descriptivos del conjunto de ejes de análisis. Dicha información, para cada uno de los casos estudiados, ha sido obtenida a través de las siguientes fuentes:

- Documentación pública oficial disponible (memorias anuales, bases de datos, estudios y proyectos realizados, etc.)
- Entrevistas personales con los responsables de los diferentes entes y empresas asociados a la explotación y planificación de cada uno de los sistemas metro considerados

En este sentido, el proceso seguido se ha articulado de acuerdo a las siguientes tareas:

1. Preparación del guión o plantilla de requerimientos informativos asociados a cada eje de análisis, elaborado por especialistas del Grupo Consultor en las materias referidas por los ejes de análisis
2. Contacto y coordinación de las entrevistas con los actores responsables del sistema Metro en los diferentes aspectos de análisis. Previo encuentro, se facilita el guión o plantilla de requerimientos informativos para la preparación de las correspondientes reuniones
3. Desplazamiento del correspondiente equipo consultor multidisciplinar especializado en cada uno de los ejes de análisis a las oficinas de los diferentes actores a ser entrevistados

La figura que se presenta a continuación presenta una relación de las diferentes entrevistas realizadas a los entes operadores de los sistemas metro seleccionados.

Figura 0-9. Relación calendarizada de entrevistas realizadas en el marco del benchmarking del Producto 12

METRO DE SANTIAGO DE CHILE	METRO DE MADRID	METRO DE SAO PAULO	METRO DE CIUDAD DE MÉXICO	METRO DE PARÍS	METRO DE LONDRES
 <ul style="list-style-type: none"> • Gerencia de Operaciones de Metro de Santiago 21/04/2009 • Gerencia de Planificación y Control de Gestión 29/04/2009 • Gerencia de Desarrollo de Proyectos 29/04/2009 • Fiscal Metro S.A. 29/04/2009 • Gerencia de Administración y Finanzas 29/04/2009 • Visita al Puesto de Control Línea 4 30/04/2009 • Gerencia de Desarrollo Sustentable 30/04/2004 • Visita al Centro de Control de Operaciones 30/04/2009 • Gerencia de Operaciones 30/04/2009 • Gerencia de Mantenimiento 30/04/2009 • Gerencia Comercial y Servicio al Cliente 05/05/2009 	 <ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Operaciones de Metro de Madrid 22/04/2009 • Jefe del Área de Transportes Metro-EMT del Consorcio Regional de Transportes de Madrid 22/04/2009 	 <ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Negocios de la Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô 22/04/2009 • Visita al Centro de Control y Seguridad de la Companhia Paulista de Trens e Instalações de Patios y Talleres 24/04/2009 • Antiguo Gerente de Planificación de Metro de São Paulo 25/04/2009 	 <ul style="list-style-type: none"> • Subdirector General de Operación del STC Metro México 11/06/2009 	 <ul style="list-style-type: none"> • Departamento de relaciones exteriores y cooperación internacional de la RATP 08/07/2009 • Departamento de Desarrollo y Acción Territorial de la RATP 09/07/2009 • Reunión con el Director de Cabinet de la STIF 09/07/2009 • Dirección de Explotación de la STIF 09/07/2009 • Dirección de Proyectos de Inversión de la STIF 09/07/2009 • Dirección de la Comunicación de la STIF 09/07/2009 • Responsable de la Misión "Mercados & Cooperación" de la RATP 10/07/2009 • Departamento de Material Rodante Ferroviario. Presentación del proyecto T3 y visita al taller de mantenimiento, RATP 10/07/2009 	 <ul style="list-style-type: none"> • Dirección de Operaciones de Tube Lines Programada 14/10/2009

Fuente: Elaboración propia

Realizado todo el proceso de obtención de información, ésta ha sido procesada y almacenada en bases de datos, con el objetivo de homogeneizar el nivel y formato de la misma para posteriormente ser tratada

en el análisis comparado de los casos. De esta manera, se asegura un ejercicio robusto y consistente que permita desarrollar de forma eficiente la comparativa de experiencias estudiadas, identificándose paralelamente aquellas buenas prácticas que puedan aportar valor al proceso de definición de la nueva red de transporte masivo metro de la ciudad de Bogotá.

El tratamiento de la información recopilada ha consistido en la especificación cuantitativa y/o cualitativamente (según aspecto referido) de cada una de las variables e indicadores considerados, registrándose:

- Su valor para el conjunto de red y por línea (si aplica)
- Su evolución temporal en los últimos años

Dependiendo de su naturaleza y/o disponibilidad, dichos valores han sido directamente proporcionados por la fuente de información consultada o bien, producto del cálculo a partir de datos facilitados.

0.2 Estructuración del documento

El presente documento se estructura de acuerdo a los diferentes ejes de análisis establecidos en la metodología de evaluación de experiencias metro (presentados anteriormente), caracterizados de forma individualizada para cada uno de los sistemas considerados. En concreto, cada uno de estos ejes ha sido desarrollado de acuerdo a los siguientes apartados:

- Análisis comparado de las diferentes experiencias metro internacionales estudiadas, en base a las variables e indicadores considerados en la metodología
- Fortalezas y debilidades identificadas en los diferentes sistemas considerados

Finalmente, el análisis multidisciplinar llevado a cabo ha permitido establecer una serie de lecciones aprendidas en los diferentes aspectos analizados.

El objetivo final del documento consiste en realizar un conjunto de recomendaciones útiles para la implementación de un sistema de transporte masivo tipo metro en la ciudad de Bogotá a partir del estudio de las 6 experiencias metro internacionales anteriormente presentadas.

Los insumos para la evaluación provienen de la caracterización previa realizada en el marco del Producto 12, a partir de las variables e indicadores cuantificados en los anteriores documentos, así como de las fortalezas y debilidades identificadas de su análisis y evaluación. A su vez, para la elaboración del presente análisis comparado, se han añadido nuevos indicadores que se han considerado útiles para la elaboración del producto.

0.1.3 Análisis comparado

En primer lugar, se realiza un análisis comparado de los 6 casos de estudio, confrontando las principales variables e indicadores explicativos de los aspectos asociados a cada uno de los 9 ejes de estudio. Dicho análisis se realiza a partir de la información recabada y explotada para la elaboración de los documentos correspondientes al análisis de cada experiencia metro individualmente, que componen el Producto 12.

Tabla 0-1. Relación de documentos asociados al Producto 12

Documento	Contenido
MB-GC-ME-0012A	Metro de Madrid
MB-GC-ME-0012B	Metro de Santiago de Chile
MB-GC-ME-0012C	Metro de São Paulo
MB-GC-ME-0012D	Metro de Ciudad de México
MB-GC-ME-0012E	Metro de París
MB-GC-ME-0012F	Metro de Londres
MB-GC-ME-0012G	Análisis comparado de experiencias
MB-GC-ME-0012H	Anexo 1. Cuestionarios de recogida de información

Fuente: Elaboración propia

Es de destacar que en el marco del presente análisis comparado, se han elaborado nuevos indicadores, adicionales a los considerados en cada una de las experiencias individualmente, con el objetivo de realizar una comparativa más completa y robusta.

0.1.4 Fortalezas y debilidades

Realizado el análisis comparado de todos los aspectos considerados en cada eje de evaluación de redes, se presentan las fortalezas y debilidades identificadas en cada uno de ellos, para el conjunto de sistemas metro estudiados. El objetivo es disponer de una serie de insumos y conocimientos específicos que permitan presentar una serie de recomendaciones finales de soporte al proyecto metro para la ciudad de Bogotá.

Los puntos fuertes y débiles de cada eje se extraen a partir de la información expuesta en el análisis comparado realizado en el punto anterior, así como del conocimiento adquirido y *know-how* propio de los diferentes especialistas que integran el equipo del Grupo Consultor en relación a cada uno de los casos seleccionados para el análisis.

0.1.5 Lecciones aprendidas

Finalmente, a partir del análisis comparado de experiencias y las fortalezas y debilidades identificadas en cada uno de los ejes, se presentan una serie de lecciones aprendidas que aporten conocimiento para el diseño de la red de transporte masivo tipo metro de la ciudad de Bogotá.

Dichas recomendaciones pretenden constituir una herramienta útil en la toma de decisiones asociadas al diseño y concepción del proyecto metro de la ciudad de Bogotá.

0.3 Glosario de términos

A continuación se presenta una relación detallada de aquellos conceptos referidos en el presente documento de los cuales se ha considerado conveniente especificar su descripción.

Mancha urbana: Ámbito urbano asociado a la estructura o red de metro

Población en mancha urbana: Número de habitantes asociados al ámbito de la mancha urbana

Estación: Punto de acceso físico al sistema Metro (concepto infraestructural)

Parada: Lugar de detención de un determinado servicio Metro (concepto de servicio)

Espaciado sobre línea de las estaciones o interdistancia: Distancia promedio entre estaciones medida sobre una línea

Superficie de cobertura de la red: Superficie agregada de la envolvente de las áreas de influencia de las estaciones, suponiendo un hinterland de afectación de 500 metros

Densidad de cobertura: Es la relación entre la superficie de cobertura de la red y la mancha urbana asociada a dicha red

Grado de flexibilidad (o interconexión): Número total de transbordos entre líneas realizables en las estaciones con interconexión respecto al total de estaciones

Grado de intermodalidad: Número total de conexiones intermodales total realizables en las estaciones respecto al total de estaciones

Intercambiador modal: Estación del sistema metro que integra además otros modos de transporte que permiten el intercambio directo entre los modos

Grado de accesibilidad: Grado de adecuación de los puntos de acceso del sistema para personas con movilidad reducida

Escudo: Tipo de tuneladora especializada en la excavación en suelos blandos

Gálibo: Dimensiones máximas (altura y anchura) de los vehículos dentro de los túneles

Bogies: Conjunto de 2 o 3 pares de ruedas situadas en ejes paralelos que permiten que los trenes circulen sobre los rieles

Trocha o entrevía: distancia entre raíles de una vía férrea

IMECA o Índice Metropolitano de Calidad del Aire: Es el indicador que informa a la población sobre la concentración de contaminantes en la Ciudad de México. Los contaminantes considerados son el ozono, las partículas menores a diez micrómetros, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y el monóxido de carbono

1 CONTEXTO INICIAL

El presente capítulo describe los diferentes puntos de partida o situación inicial en que empezó la operación de cada uno de los sistemas metro analizados.

En primer lugar, la puesta en funcionamiento de los diferentes sistemas metro estudiados varía en función de la red considerada; la primera en entrar en servicio fue el sistema metro de Londres (primero también a nivel mundial), inaugurado en 1863. Por su parte, las ciudades de São Paulo y Santiago de Chile no iniciaron la operación de sus sistemas hasta la década de los 70 del siglo pasado.

Tabla 1-1. Año de puesta en servicio de los diferentes sistemas metro analizados

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Puesta en servicio	-	1919	1975	1974	1969	1900	1863

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

En la puesta en funcionamiento de las redes, el tramo inicial oscilaba entre los 3.5 kilómetros, corredor inaugurado en Madrid, y los 12.7 de la ciudad de México. Asimismo, el número de paradas se situaba entre las 7 de Londres o São Paulo, hasta las 16 de la capital mexicana.

Tabla 1-2. Longitud y número de estaciones en la puesta en servicio de los diferentes sistemas metro analizados

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Longitud	km	3.5	8.2	6.4	12.7	12.0	6.0
Estaciones	#	8	12	7	16	8	7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Finalmente, cabe destacar el tiempo transcurrido hasta la puesta en operación de una segunda línea en el sistema; dicho valor fue de tan solo unos meses en el caso de París, llegándose hasta los 5 años en los casos de Madrid, São Paulo y Londres.

Tabla 1-3. Tiempo transcurrido hasta la puesta en servicio de una segunda línea en los diferentes sistemas metro analizados

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Tiempo transcurrido	años	5	3	5	1	<1	5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

2 EJE 1: CARACTERIZACIÓN FÍSICA E INFRAESTRUCTURAL

El capítulo actual presenta un análisis comparado de los diferentes aspectos asociados a la caracterización física e infraestructural correspondiente a los 6 sistemas de transporte público tipo metro estudiados a lo largo del desarrollo del Producto 12. A partir de dicho análisis y con el conocimiento pormenorizado que el Grupo Consultor tiene de las diferentes redes analizadas, se presentan las principales fortalezas y debilidades identificadas.

Nota: Los datos que se presentan en los distintos gráficos y tablas del presente capítulo se corresponden con la situación actual de cada una de las redes a 2008 (excepto el caso Madrid'95, que se corresponde a la red operativa el año 1995)

2.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados a la caracterización física e infraestructural

La caracterización física e infraestructural de un sistema de transporte masivo como el metro es uno de los aspectos más relevantes por la implicación que dichas características tienen en los costos incurridos por el sistema. En esta línea, el presente numeral desarrolla un análisis comparativo de las diferentes variables, parámetros e indicadores asociados a los diferentes componentes infraestructurales del sistema, tanto fijos como móviles: red, estaciones, instalaciones y material móvil.

2.1.1 La red

Dentro del eje de caracterización físico-infraestructural, son de especial relevancia los diferentes aspectos característicos de la estructura topológica y funcional de las diferentes redes de metro analizadas en relación al entorno en el cual se encuentra ubicada y da servicio.

En cuanto al número de líneas, entre los sistemas analizados es la red de Madrid 2008 la que opera un mayor número de servicios, con un total de 17 líneas. Por el contrario, cabe destacar el sistema metro de São Paulo como el que opera un menor número de líneas, con únicamente 4 servicios operados en la actualidad.

Con diferente número de servicios, cada uno de los casos analizados tiene una configuración de sus líneas que dan lugar a su estructura de red, aspecto que define el carácter funcional de una determinada red. En este sentido, a excepción de la red de metro de Madrid existente en el año 1995 y la red de París, con un marcado carácter central con una estructura mallada altamente densa, el resto de redes estudiadas presentan una estructura eminentemente radial. Londres y la red de metro de Madrid en 2008 se deben considerar un caso intermedio, debido a que si bien disponen de una estructura central densa de corredores, han desarrollado líneas radiales que dan conexión a la malla central con zonas alejadas del centro.

Por su parte, cabe destacar que, mientras las redes de Santiago de Chile, São Paulo y Madrid'95 tienen una estructura en proceso de expansión, Madrid '08, México, París y Londres poseen una red con carácter consolidado en la que únicamente se realizan pequeñas ampliaciones para cubrir nuevas áreas y actuaciones de densificación, disponiendo ya actualmente de una buena cobertura.

Tabla 2-1. Número de líneas en operación y estructura de las mismas para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Líneas	#	11	17	5	4	11	16	11
Estructura	-	Malla Central	Malla Radial	Radial	Radial	Radial	Malla Central	Malla Radial

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

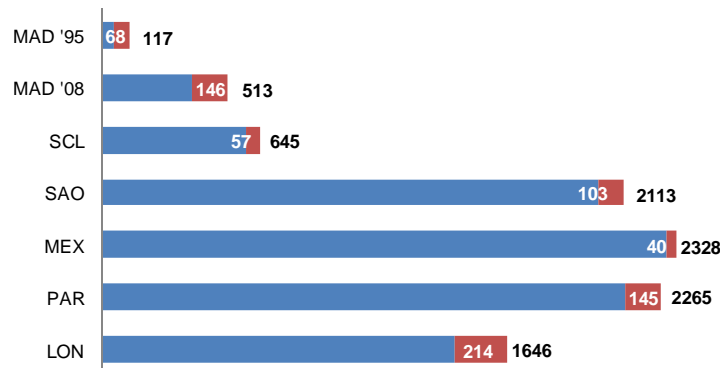
Con respecto a la cobertura de cada una de las redes analizadas, se observa que Londres es la que cubre una mayor superficie, con un total de 214 km², en contraposición con la red de la ciudad de São Paulo, la cual ofrece una cobertura territorial total de 40 km². Si bien dichas variables no son indicativas en términos comparativos, como indicador de evaluación y comparación se considera la densidad de cobertura, cuyo cálculo se realiza como el cociente entre cobertura de red y mancha urbana sobre la cual ésta se encuentra ubicada. Comparando los valores, se observa que la red Madrid'95, con un 58% de densidad, es la que mayor superficie de mancha urbana cubre suponiéndose el hinterland de sus estaciones¹. En el otro extremo se encuentran Ciudad de México y São Paulo, con densidades de cobertura inferiores al 5%; en el primer caso, dicho valor viene motivado por la gran extensión de las líneas en que se estructura su red, asociándose a un ámbito extenso; en el segundo, incluso más reducido, se debe a la poca extensión de la red de metro (lo cual supone un menor número de estaciones y en consecuencia, de cobertura) en relación a la superficie de mancha urbana en que se ubica la misma, que en cualquier caso tiene gran extensión.

Tabla 2-2. Comparación de las diferentes manchas urbanas y cobertura de la red para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Mancha Urbana	km ²	117	513	645	2,113	2,328	2,265	1,646
Cobertura	km ²	68	146	57	40	105	145	214
Densidad cobertura	%	58.1%	28.5%	8.8%	1.9%	4.5%	6.4%	13.0%

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1. Comparación de las diferentes manchas urbanas y cobertura de la red para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia

¹ La mancha urbana considerada en Madrid'95 cubre la capital española, obviando los núcleos menos densos que actualmente son servidos a causa de las ampliaciones en el sistema realizadas entre 1995 y 2008.

Las diferentes extensiones de red de los sistemas estudiados pueden ser comparadas en base al cálculo de indicadores tales como la densidad espacial de la red, es decir, km de red por km² de mancha urbana. La red que obtiene un mejor desempeño se corresponde al sistema de metro existente en la ciudad de Madrid del año 1995, con un valor de 1.03 km/km², valor motivado por la gran concentración de servicio en un ámbito reducido. Por otro lado, con un valor menor a 0.1 km/km², las redes operadas en México, París y São Paulo son las de menor densidad espacial.

Otro indicador resultante del análisis de la extensión del sistema de transporte es la densidad poblacional. La red londinense, con un total de 66.46 km por cada 1 millón de habitantes ubicados en su mancha urbana, es la de mayor densidad, contrastando con los solamente 4.09 km por millón de habitantes resultantes en la red paulista.

Tabla 2-3. Densidad espacial y poblacional de red para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Densidad espacial de red	km/km ²	1.03	0.55	0.13	0.03	0.09	0.09	0.29
Densidad poblacional de red	km/Mhab	39.90	65.28	14.70	4.09	11.29	17.80	66.46

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 La vía

A continuación se presentan comparativamente diferentes variables e indicadores que permiten comparar las diferentes redes en estudio en relación a la superestructura de soporte a los servicios operados.

Al comparar las extensiones de red, la correspondiente a la ciudad de Londres resulta la más prolongada con un total de 476.5 km, mientras que la red explotada en la ciudad de São Paulo, con una extensión de 61.3 km, es la de menor longitud. Un valor elevado en cuanto a extensión de red es indicativo de la cobertura espacial de la red en cuanto alejamiento respecto al centro ciudad; por ejemplo, de las redes europeas, si bien se trata de estructuras altamente consolidadas, en el caso de París la extensión es inferior a las redes de Londres y Madrid, principalmente debido a que la cobertura de barrios y áreas periféricas se ha llevado a cabo con sistemas de transporte complementarios, como el RER, optándose por concentrar el sistema metro en el ámbito central.

Por otro lado, es interesante no solo conocer la extensión de red, sino la extensión de las líneas que conforman una determinada red, variable determinante en la planificación de la operación de los servicios. Al analizar las líneas operadas por los sistemas estudiados, se percibe que la línea más extensa pertenece también a la red de Londres con 83.2 km, y la de menor longitud es de 1.1 km, correspondiente a un ramal de la red de metro Madrid. No obstante, cabe destacar que en la mayoría de casos, las líneas más largas no acostumbran a superar los 25 km; en el caso de los 40.6 km de la L12, dicha longitud se debe a que se trata de un servicio circular ubicado fuera de la ciudad, conectando diferentes núcleos urbanos de la periferia de Madrid. El resto de servicios operados en la capital española no superan en ningún caso los 25 km de recorrido.

Tabla 2-4. Longitud de vía para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Longitud vía total	km	120.9	283.3	85.1	61.3	201.4	208.1	476.5
Longitud línea max	km	23	40.6	24.4	22	23.7	23	83.2
Longitud línea min	km	1.1	1.1	8.3	8.4	9.3	1.3	2.4

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Otro de los factores determinantes a la hora de evaluar redes es la velocidad de expansión asociada a la ejecución de los diferentes servicios. En el proceso de planificación y priorización, es determinante conocer qué capacidades de construcción son las habituales o factibles con el objetivo de poder planificar los servicios de movilidad de que va a gozar una determinada ciudad. En este sentido, cabe destacar que la velocidad anual de expansión más elevada que se ha podido identificar de los diferentes sistemas estudiados alcanza los 17.6 km ejecutados anualmente de la red de Ciudad de México, así como las actuaciones realizadas en Madrid durante el período 1995-2007, en el cual se extendió la red a razón de 13.5 km por año. Dicha capacidad de producción de infraestructura responde a diferentes motivos, ya sean estructurales (condiciones geomorfológicas y estructura a ejecutar), así como aspectos administrativos de los diferentes entes involucrados en la ejecución del sistema, en relación a la agilización de procesos.

Dentro del presente análisis infraestructural, a continuación se analizan comparadamente las diferentes tipologías de estructura implementadas en cada una de las redes: estructura subterránea o en túnel, estructura en superficie y estructura en viaducto. La implementación de cada una de estas tipologías responde habitualmente a condicionantes territoriales, urbanísticos y presupuestarios. En relación a los casos analizados, se puede comprobar cómo en los casos europeos, la implementación de estructura en túnel es mucho más empleada (a excepción del caso de Londres), mientras que las redes latinoamericanas más contemporáneas, el viaducto y la superficie tienen mucha mayor presencia. La estructura de red correspondiente a Madrid'95 es la que comprende una mayor cantidad de su recorrido en vías subterráneas (94.2%), siendo el resto de su extensión en superficie. Por su parte, la red de Londres posee el 51.2% de su extensión subterránea, un 47.3% sobre la superficie y el 1.5% restante en viaducto, siendo la red con menor cantidad de longitud en túnel de las estudiadas. Finalmente, se debe mencionar que la red de México D.F. es la que presenta un mayor porcentaje de red en viaducto con casi un tercio de su extensión.

Tabla 2-5. Tipología estructural de vía para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Subterráneo	%	95.9	94.2	55.0	52.7	58.9	90.6	51.2
Superficie	%	4.1	5.8	24.4	24.1	9.5	3.4	47.3
Viaducto	%	0.0	0.0	20.6	23.2	31.6	6.0	1.5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Por otro lado se puede analizar la tipología de la vía empleada para la operación, ya que esta puede estar ejecutada para el empleo de material rodante férreo o neumático. Cabe destacar los casos de París y Santiago de Chile, redes que operan gran parte de sus vías con tipología neumática, el 91% y 62% respectivamente. En el caso de París, el empleo de esta tecnología ha venido marcado históricamente por motivos comerciales y alianzas con productores neumáticos, si bien el empleo de una tecnología u otra permite adecuarse mejor a ciertos condicionantes de trazado (la tecnología neumática permite

asumir pendientes más elevadas y radios de giro más reducidos) así como dar lugar a impactos medioambientales diversos.

En lo referido al análisis del trazado de las distintas redes, en primer lugar cabe destacar la velocidad de diseño. La red con una mayor velocidad de diseño es la de São Paulo, con 100 km/h, y la que fue diseñada con una menor velocidad es Madrid, con 70 km/h. Por otra, el radio mínimo asociado a los trazados de línea estudiados tiene una relación directa con la variable anteriormente presentada. La red que presenta un menor radio de giro en su trazado es la de París, con valores que pueden llegar a los 40 metros; la de mayor radio mínimo es la red paulista, con valores de 300 metros.

Entre otros parámetros relacionados con aspectos de trazado, cabe destacar las pendientes máximas existentes en las redes analizadas, donde destaca el 7% de pendiente longitudinal en ciertos puntos de la red de metro de Ciudad de México. Como red con menor pendiente aparece São Paulo, con valores del 4%. En cuanto al ancho de vías implementado, predominan los 1,435 mm (equivalente al ancho internacional). Sin embargo, en algunos tramos de la red São Paulo el ancho es de 1,600 mm, y en la red operada en la ciudad de Madrid se utiliza un ancho de vía de 1,445 mm.

El material móvil implementado en la operación determina la capacidad de los rieles a implantar en la supraestructura ferroviaria, es decir, la resistencia de éstos frente al paso de los vehículos. En concreto, entre los casos analizados se ha identificado diferentes resistencias de riel: las redes de São Paulo y México D.F. utilizan rieles con una resistencia de 57 kg por metro de longitud, mientras que en el caso de Madrid se emplean rieles de 45 y 54 kg/m.

Tabla 2-6. Características del trazado de la superestructura de las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Velocidad de diseño	Km/h	70	-	-	100	80 - 100	80	-
Radio mínimo	m	90	-	100	300	105	40	-
Pendiente máxima	%	5	-	4.8	4	7	5	-
Radio en alzado mínimo	m	-	-	-	500	1250	-	-
Ancho vía	mm	1,445	-	1,435	1,435/1,600	1,435	1,435	-
Riel	Kg/m	45 54	-	40	57	57	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Otro de los aspectos relevantes de las vías es su estructura, es decir, qué tipo de material de soporte de cargas ha sido empleado. La red operada en ciudad de México está compuesta por vías con una supraestructura 100% ejecutada en balasto, mientras que el caso de Santiago de Chile, el 100% es plataforma de hormigón.

La geomorfología de cada una de las redes es también un aspecto a tener en cuenta, especialmente en el momento de determinar la estructura a ejecutar, así como el procedimiento constructivo a ser empleado. En el caso de la ciudad de Madrid, el suelo se caracteriza por estar compuesto por granitos, gneises y calizas, mientras que las características del terreno de Santiago de Chile muestran un suelo alterado, gravas arenosas y grava areno-arcillosa.

Dichas geomorfologías determinan los distintos sistemas constructivos utilizados, destacándose las distintas técnicas utilizadas en cada una de las redes. Se pueden destacar como métodos más utilizados en los diferentes casos estudiados el NATM (Nuevo método austríaco) y la tuneladora, siendo la excavación en trinchera y los sistemas manuales (método belga) los menos implementados.

2.1.3 Las estaciones

Dentro del presente eje de análisis físico-infraestructural, otro de los elementos analizados han sido los puntos de acceso a la red o estaciones, evaluándose diferentes indicadores y variables asociados a los distintos sistemas metro estudiados.

Si bien los kilómetros de infraestructura son indicativos de la extensión de la red, no lo son de la cobertura de ésta. Los puntos de acceso al sistema o estaciones son aquellas estructuras que determinan el hecho que el sistema sea accesible por el usuario en un determinado espacio de la ciudad. En este sentido, una red de metro con gran cantidad de estaciones es una red altamente accesible a la población ubicada en el entorno de éstas. En este sentido, cabe destacar la ciudad de París como la que mayor número de puntos de acceso dispone, con un total de 298 estaciones; en el polo opuesto se sitúa São Paulo, con el menor número de puntos de acceso con un total de 55.

Como se puede comprobar, las redes más antiguas y consolidadas (París, Londres y Madrid) son aquellas que disponen de un mayor número de estaciones, cubriendo también superficies de lo más diversas. En este sentido, la densidad espacial de estaciones relaciona la cantidad de los puntos de acceso con la superficie de mancha urbana afectada a cada red estudiada. En este caso Madrid'95 es la que tiene un mayor valor con 1.06 estaciones por cada km²; São Paulo, en cambio, con 0.03 estaciones por km², es la de menor densidad espacial a causa de su elevada extensión urbana. En el indicador referido a la densidad poblacional de estaciones, Madrid'95 es la red con mayor número de 40.9 estaciones por cada millón de habitantes, mientras que São Paulo es la de menor con 3.7 estaciones por cada millón de habitantes.

Tabla 2-7. Densidad espacial y poblacional de estaciones para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Estaciones	#	124	238	85	55	147	298	272
Densidad espacial	est/km ²	1.06	0.46	0.13	0.03	0.06	0.11	0.17
Densidad poblacional	est/Mhab	40.92	54.84	14.68	3.67	8.24	20.53	37.94

Fuente: Elaboración propia

Otra variable infraestructural, determinante en el servicio ofertado al usuario, es la interdistancia promedio entre estaciones. Dicho valor es directamente proporcional a la densidad de estaciones en el ámbito por el cual discurre una determinada línea de metro. En este sentido, se puede observar que la red con una menor distancia sobre línea entre estaciones es la de París, con 572 metros, mientras que Londres con 1,333 metros de promedio, se sitúa en el otro extremo (valor elevado debido a la extensión fuera del centro ciudad de esta red). Al relacionar dicha interdistancia promedio con la densidad de población, se observa que la red de Madrid'95 con 29.6 km*km²/millones de habitantes, obtiene el valor más bajo en comparación a los 183.3 de la red de São Paulo y los 306.0 de Londres, con valores mucho más elevados.

Tabla 2-8. Interdistancia y relación con la densidad de población para las distintas experiencias metro

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Interdistancia	m	767	1,009	1,086	1,301	1,162	572	1,333
Densidad población	Hab/km ²	25,897	8,460	8,977	7,099	7,663	5,161	4,356
Interdist. /Densidad pobl.	km*km ² /Mh	29.62	119.27	120.98	183.27	151.63	110.83	306.01

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Hasta este punto se han analizado las estaciones, puntos físicos de acceso a la red. No obstante, a nivel de análisis de red, es importante tener en cuenta también el número de paradas, es decir, puntos de parada de los diferentes servicios que se operan en la red de metro. En lo referente a la cantidad de paradas que cada una de las redes analizadas posee, se destacan las 380 de la red parisina como la de mayor cantidad, y São Paulo como la de menor con 58. En cuanto a paradas por línea, la red de Londres es la que opera la línea con mayor número de paradas, un total de 57.

Tabla 2-9. Número de paradas para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Paradas totales	#	163	293	92	58	175	380	369
Línea con más paradas	#	27	33	24	23	24	38	57
Línea con menos paradas	#	2.0	2.0	6.0	6.0	10.0	4.0	2.0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Como se puede comprobar, las redes más consolidadas como pueden ser París y Londres, tienen un número de paradas por estación más elevado. Esto se debe al hecho que, al tratarse de estructuras de gran madurez, con muchos servicios, a lo largo del tiempo se han ido generando puntos de interconexión entre líneas, puntos accesibles a través de puntos de acceso o estaciones comunes de interconexión.

En este sentido, Londres dispone de la red con mayor número de estaciones de interconexión, un total de 66. Opuestamente, São Paulo cuenta en total con únicamente 3 estaciones en las cuales es posible realizar interconexiones entre líneas, debido a su reducido grado de madurez. Teniendo en cuenta la cantidad de transbordos que se pueden realizar en cada red estudiada, Londres resulta ser nuevamente la de mayor cantidad con un total de 141. Por su parte, la red paulista cuenta con 3, siendo la que menor posibilidad de transbordos ofrece al usuario.

De los datos anteriores se desprende otro indicador, el grado de flexibilidad, correspondiente al cociente obtenido del número total de transbordos entre líneas realizables de las estaciones con interconexión respecto al total de estaciones. El mayor grado de flexibilidad obtenido es 0.52, en el sistema de Londres, y el menor es 0.05 en el sistema de São Paulo.

Se debe mencionar que la ampliación del sistema en Madrid en los últimos años implicó una reducción de la flexibilidad en el sistema a causa del carácter expansivo de las actuaciones llevadas a cabo.

Tabla 2-10. Grado de interconexión para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Estaciones con interconexión	#	29	42	7	3	24	58	66
1 corr.	#	20	30	7	3	21	42	44
2 corr.	#	8	11	-	-	2	11	16
3 corr.	#	1	1	-	-	1	2	4
4 corr.	#	-	-	-	-	-	3	1
5 corr.	#	-	-	-	-	-	-	1
Número de transbordos	#	50	69	7	3	33	117	141
Grado flexibilidad	# trans/# est	0.40	0.29	0.08	0.05	0.22	0.49	0.52

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Siguiendo con el análisis comparativo de la funcionalidad en las estaciones de los casos objeto de estudio, se puede observar como la red de México tiene 72 estaciones que permiten realizar intercambios con otro tipo de modo de transporte², siendo éste el máximo observado debido a la consideración del modo Trolebús (48 estaciones tienen intercambio con dicho modo). São Paulo, por su parte, es la red con menor número de estaciones intermodales con un total de 8.

El grado de intermodalidad de una red ha sido valorado como el número total de conexiones intermodales total realizables en las estaciones intermodales respecto al total de estaciones existentes en la red. En concreto, la red de México posee un grado de intermodalidad de 0.62, resultando este el valor máximo entre los casos estudiados. Por el otro lado, Santiago de Chile con 0.13 tiene el menor grado de intermodalidad.

Las redes con un elevado grado de madurez (Madrid, París y Londres) se sitúan en valores cercanos a 0.25 (valor cercano para la red de México sin contar el sistema Trolebús).

Tabla 2-11. Grado de intermodalidad para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Estaciones con intermodalidad	#	20	40	9	8	72	43	62
1 modo	#	14	34	7	7	54	38	52
2 modos	#	3	3	2	1	17	5	9
3 modos	#	3	3	0	0	1	0	1
Grado de intermodalidad	# mod/# est	0.23	0.21	0.13	0.16	0.62	0.20	0.27

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

En lo referido a a tipología de las estaciones, aspecto directamente relacionado con la tipología infraestructural en que se ejecuta la red, cabe destacar el 96.8% de las estaciones subterráneas en la red Madrid'95. A su vez, destaca el 51.8% de las estaciones londinenses situadas en superficie (la mayoría de ellas en zonas periféricas de baja densidad) y el 27.3% de estaciones elevadas en el sistema paulista.

² No se ha considerado, a efectos de intermodalidad, las redes de autobuses urbanos, puesto que se trata de redes densas, con un elevado grado de conexión con la red de metro, lo cual distorsionaría la conceptualización de intercambio modal con el resto de modos

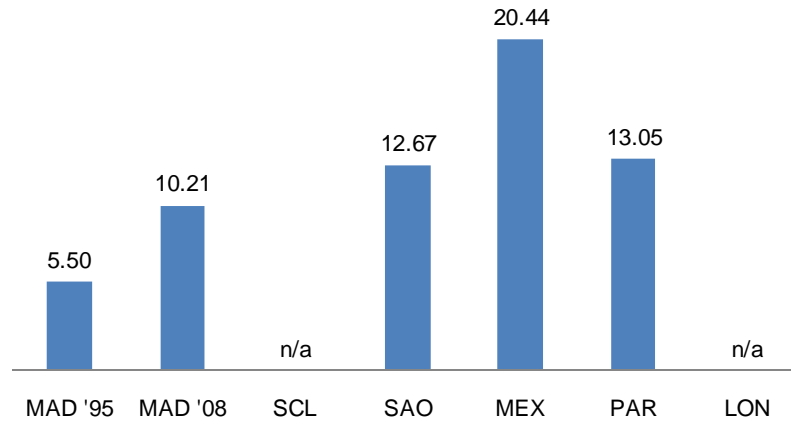
Tabla 2-12. Tipología de las estaciones para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Subterráneas	%	96.8	95.5	64.8	52.7	61	91	46.3
En superficie	%	2.4	4	19.3	20	30	3	51.8
Elevadas	%	0.8	0.5	15.9	27.3	9	6	1.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

La cantidad de torniquetes es otra característica fundamental para evaluar la capacidad de las estaciones, y en consecuencia, de la capacidad de acceso al sistema. En este sentido, la red de metro operada en la ciudad de México cuenta con un total de 3,005 torniquetes, lo que representa un total de 20.4 torniquetes por estación, siendo el valor más alto registrado de todos los casos analizados. La red parisina posee en total 3,131 torniquetes, lo cual promedia 13 por estación. En contraste con estos valores, la red Madrid'95 registra un promedio de 5.5 torniquetes por estación.

Figura 2-2. Número de torniquetes por estación para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Tabla 2-13. Cantidad de torniquetes totales para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Torniquetes	#	682	2,430	-	697	3,005	3,131	-

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

En los diferentes documentos específicos de cada una de las experiencias metro seleccionadas se han evaluado las ubicaciones de los andenes dentro de las estaciones. Al respecto se observa que en el caso de Santiago se han ejecutado la mayoría de tipo lateral, un total de 33, poniéndose en servicio, a su vez, 17 centrales y 8 mixtos. Por su parte, en la red operada en la ciudad de México se tienen 70 andenes laterales y 30 centrales.

2.1.4 Operativa y mantenimiento

Para valorar la infraestructura para la operativa y mantenimiento del sistema se requiere evaluar la cantidad de kilómetros de "vía muerta" que poseen las redes, es decir, la extensión de red dedicada a las

operaciones de conexión técnica. En este sentido se destacan los 8 km de Madrid 2008 que representan 2.8% de la extensión total, mientras que los 8 km de vía muerta de la red de México D.F. representan un 4%. Por su parte, Londres dispone de 16.2 km de red utilizados para operación y mantenimiento de la misma, representando un 3.4% del total de la red.

En lo referente a la cantidad de instalaciones para el mantenimiento, reparación y almacenamiento del material móvil (depósitos y talleres), la red operada por São Paulo cuenta con 3 depósitos, mientras que el sistema de Madrid 2008 cuenta con un total de 13 talleres y 7 cocheras. Otra red destacada en este sentido es la de México, en la cual existen 7 depósitos y talleres y 17 cocheras. A partir de estas cifras se desprende un indicador que permite cuantificar el ratio de cantidad de talleres y cocheras por km de red. Se observa que la red de metro de México tiene una relación de 12 patios por cada 100 km de vía, valor contrapuesto a los 5 patios por cada 100 km de la red de São Paulo.

Por otro lado, se puede comparar para los diferentes casos estudiados la cantidad de operaciones de mantenimiento realizadas. Anualmente la red de metro de Madrid realiza 316 mil operaciones de mantenimiento anuales, de las cuales el 96% son de mantenimiento preventivo y el resto de mantenimiento correctivo. Por su parte la red operada por Ciudad de México registra 253 mil operaciones de mantenimiento, sin diferenciarse entre preventivo y correctivo. De estos valores se desprende el indicador de cantidad de operaciones por kilómetro recorrido: en el caso del metro Madrid el valor obtenido es de 3.37 operaciones por coche-kilómetro, mientras que la red del distrito federal mexicano muestra un valor de 0.72 operaciones por coche-kilómetro.

2.1.5 El material móvil

El análisis de los distintos sistemas metro seleccionados ha considerado también la caracterización de aquella infraestructura no fija empleada por los distintos sistemas en la operación del servicio: el material móvil.

Al comparar las flotas que poseen las redes analizadas, destaca Londres con una flota total de 3,983 coches, la máxima cantidad entre los casos estudiados. Por su parte, el sistema de Santiago de Chile cuenta con una flota de 751 coches, siendo la más reducida juntamente con São Paulo (798). Como se puede comprobar, las redes de mayor extensión son las que a su vez, disponen de mayores flotas. No obstante, dicho valor de vehículos no depende solamente de las longitudes recorridas, sino del servicio ofrecido sobre las líneas en términos de frecuencia así como de la composición de los convoyes. Es por este motivo que el sistema metro de París requiere de cerca de 1,200 vehículos más que el sistema de Madrid, teniendo éste último una extensión de 75 km mayor.

Si se consideran los coches en operación por cada kilómetro de red, París muestra la relación más alta, con 16.9 coches/km red, siendo Madrid 2008 la relación más baja con 8.2 coches/km red. Otro indicador desprendido de la cantidad de coches, es la relación de la flota con la cantidad de cocheras. Santiago tiene, en promedio, 83 coches por cochera, mientras que la relación en el caso del metro São Paulo equivale a 266 coches por cochera.

Tabla 2-14. Flota en operación para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Flota	#	1,076	2,310	751	798	3,003	3,515	3,983
Flota / km	# / km	8.90	8.15	8.82	13.02	14.91	16.89	8.36
Flota / (Cochera + Taller)	# / #	-	115.50	83.44	266.00	125.13	234.33	221.28

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Siguiendo con el análisis del material móvil se analizan las capacidades vehiculares con las que cuentan cada uno de los casos expuestos en este documento. Se destacan los 398 pasajeros que puede transportar un vehículo del sistema metro de Santiago de Chile, mientras que la red de México opera habitualmente con coches con capacidades de 170 plazas. Otro factor de importancia con respecto al material móvil a la hora de comparar los distintos sistemas metro es la composición de los trenes utilizados, variable por redes y líneas con el objetivo de ajustarse a la demanda. Según sea la línea, la red de metro Santiago utiliza composiciones altamente variadas, 3, 5, 6, 7 u 8 coches por tren, mientras que en el caso de São Paulo se emplean sólo composiciones únicas de 6 coches.

Referido a la antigüedad del material móvil puesto en servicio, los trenes utilizados por la red Madrid 2008 tienen una edad promedio de 10.6 años de antigüedad, siendo los más nuevos. Las redes de México D.F., París y Londres son las que disponen de un material móvil con una edad promedio superior, alcanzándose los 20 años.

Cabe destacar el grado de disponibilidad del material móvil. La red paulista tiene activa al 98.6% del total de su flota, siendo la de mayor grado de disponibilidad presenta. Por su parte, la red parisina posee un grado de disponibilidad de su flota del 84%.

Tabla 2-15. Grado de disponibilidad del material móvil para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Grado de disponibilidad	%	92.7%	97.1%	-	98.6%	-	84.0%	97.9%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

2.2 Fortalezas y debilidades asociadas a la infraestructura de los sistemas metro analizados

A continuación se presentan las fortalezas y debilidades identificadas asociadas a los diferentes aspectos infraestructurales de los sistemas metro estudiados, cuyos principales elementos se detallan a continuación.

2.2.1 Fortalezas

En relación con las fortalezas identificadas en el presente eje de análisis cabe destacar en primer lugar, que las redes de las ciudades de Londres, París y Madrid y las regiones metropolitanas en las que operan, se adaptan a los requerimientos de tamaño y población servida, siendo estas mismas las ciudades con una red más consolidada en comparación con los demás casos.

A su vez, en las ampliaciones de red llevadas a cabo recientemente, la tipología estructural de vía se ha adaptado a los requerimientos de la zona servida, realizándose mayoritariamente en túnel, en las zonas de alta densidad de población (centro de la población), coincidentes con las áreas más consolidadas, y en superficie o viaducto en las localizaciones con un carácter más periférico (menos densamente pobladas).

Respecto a las ampliaciones de red llevadas a cabo, cabe destacar los casos de Ciudad de México y Madrid, que en sus expansiones recientes han llegado a ejecutar cerca de 18 y 14 kilómetros de red anualmente.

En cuanto a las paradas de línea, es destacable la proximidad entre estaciones de la red de París, inferior a los 600 metros, menor que los más de 1,000 metros en cualquier de las otras experiencias analizadas.

Asimismo se considera una fortaleza, el elevado grado de intermodalidad existente en el caso de Londres, donde 6 de cada 10 estaciones posibilitan la interconectividad entre los diferentes modos de transporte público con la red de metro, posibilitando una mejor cobertura global del territorio al servir los modos en interconexión, zonas no servidas por el metro.

Conviene destacar la localización de ciertas instalaciones relacionadas con el material móvil (depósitos, talleres, cocheras) en las mismas líneas en las cuales operan, reduciéndose así tanto el tiempo de recorrido como los kilómetros de red en “vía muerta”.

Finalmente, la adaptación de la longitud de los convoyes a la demanda existente en función de la línea posibilita un mejor aprovechamiento de los recursos existentes así como una reducción de los gastos asociados a la operación del sistema. En este sentido se destaca la red de Santiago de Chile, la cuál es la que utiliza de mejor manera esta flexibilidad para adaptarse a la demanda debido a las variadas composiciones que utiliza para formar sus trenes (3, 5, 6, 7 u 8 coches por tren).

2.2.2 Debilidades

Una característica común en las diferentes redes estudiadas es la reducida densidad espacial de cobertura de las estaciones del sistema metro que no alcanza, a excepción del caso de Madrid, el 15% de la superficie urbana en la que se establece la estructura de la red de metro.

También conviene destacar que en las líneas implantadas en el pasado, correspondientes a las redes más consolidadas, así como en las redes de implantación más reciente, los corredores no están adaptados a los requerimientos urbanísticos de la zona, ejecutándose tramos de línea no subterránea en zonas de alta consolidación urbana.

Adicionalmente, la baja interconexión entre líneas, en los sistemas de metro de Sao Paulo y Santiago de Chile, que poseen un bajo nivel de consolidación, imposibilita la realización de un elevado número de viajes empleando únicamente el sistema de transporte metro, teniéndose que recurrir a la intermodalidad o el uso del vehículo privado.

Además, se debe resaltar que debido a la localización de las instalaciones de material móvil en cada línea se debe operar con un elevado número de ellos a medida que se ponen en funcionamiento nuevas líneas en el sistema.

Finalmente, la edad promedio en las diferentes experiencias metro analizadas ha resultado elevada situándose por encima de los 14 años en todos los sistemas, a excepción del caso de Madrid en que la edad promedio actual es de poco más de 10 años.

3 EJE 2: ANÁLISIS OPERACIONAL

El presente capítulo realiza un análisis comparado de los diferentes aspectos asociados a la operación de los 6 sistemas de transporte público tipo metro estudiados a lo largo del desarrollo del Producto 12. Se analizará la oferta y demanda de los casos evaluados, así como las áreas complementarias de la operación como el sistema tarifario, y el desempeño de la explotación de la operación. A partir de dicho análisis, y con el conocimiento pormenorizado que el Grupo Consultor tiene de las diferentes redes analizadas, se presentan las principales fortalezas y debilidades identificadas, así como las buenas prácticas aprendidas durante este ejercicio.

Nota: Los datos que se presentan en los distintos gráficos y tablas del presente capítulo se corresponden a los ejercicios actuales (2008) de cada una de los sistemas (excepto el caso Madrid'95, que se corresponde al ejercicio del año 1995)

3.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados a la operación del sistema

La caracterización de la operación en términos de oferta y demanda de un sistema de transporte masivo como el metro es uno de los aspectos más relevantes a la hora de evaluar la eficiencia y desempeño del sistema. En esta línea, el presente numeral desarrolla un análisis comparativo de las diferentes variables, parámetros e indicadores asociados a la operación de los 6 servicios estudiados, en base a la caracterización de la oferta de servicios, la demanda asociada a los mismos, y la confrontación de ambos aspectos.

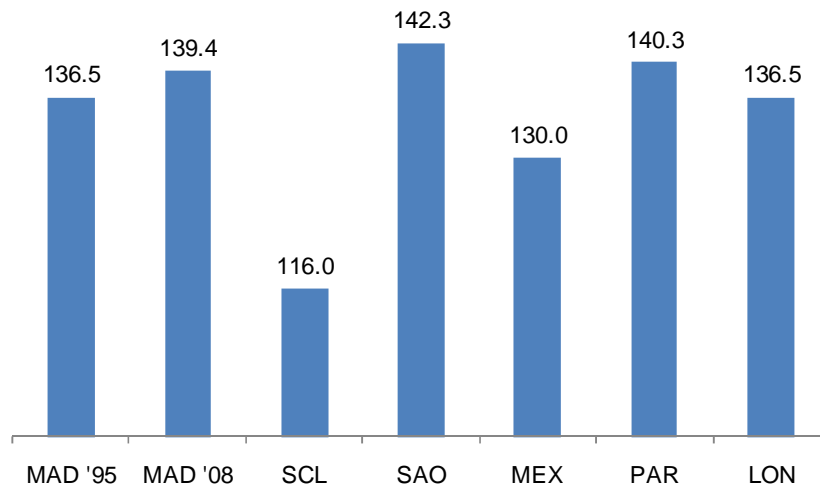
3.1.1 Oferta de servicio

En el presente apartado se analizan las diferentes variables e indicadores descriptivos de la oferta de servicio prestada por los diferentes operadores de metro, tales como el horario de servicio, las frecuencias de operación en las diferentes líneas, los trenes asignados a las mismas, oferta de plazas por kilómetro, los kilómetros recorridos por éstos, entre otros.

Al comparar la cantidad de horas semanales de operación para cada una de las redes analizadas, se observa que la red de São Paulo es la que brinda un servicio más amplio a sus usuarios, con un total de 142.3 horas de operación semanales, mientras que México D.F. acumula semanalmente 130 horas de servicio, y Santiago de Chile la que menos horas oferta, con un total de 116 semanales. En promedio, los sistemas de metro analizados tienen un servicio semanal de 134.4 horas a la semana, siendo los días laborables los días que más horas de operación se ofrece al público.

Vale la pena anotar que, a excepción de Santiago de Chile, los sistemas de metro analizados operan más de 130 horas a la semana, es decir, un promedio de 18.5 horas al día. El metro de París es el único sistema que durante los días sábados y domingos aumenta su horario, al pasar de 19.75 horas al día entre semana, a 20.75 horas los sábados y domingos. En Madrid, todos los días de la semana tienen el mismo horario de atención, y en el resto de casos los días sábados y domingos el horario de servicio del metro es menor que en los días laborables (lunes a viernes). Santiago de Chile presenta la mayor disminución en el horario de servicio, al pasar de 17 horas al día entre semana, a 14.5 horas los días domingos y festivos.

Figura 3-1. Cantidad de horas semanales de servicio para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia

Conviene resaltar que dichos valores representan, a efectos de día medio, un total que oscila entre las 16.5 y las 20.3 horas.

La oferta de servicio es evaluada también en función de la cantidad de despachos que se realizan anualmente. En relación a este parámetro, el metro de París tiene un registro de 2.11 millones de despachos anuales, siendo ésta la mayor registrada entre los sistemas estudiados, frente a los 0.67 millones de despachos realizados en la red de metro chilena anualmente. El perfil de demanda de cada línea define la cantidad de despachos necesarios en cada caso, concentrándose la mayor cantidad de despacho diarios en aquellos periodos de tiempo punta de la línea. En general, hay una concentración de despachos en las horas punta de la mañana y tarde. Sin embargo, en casos extremos como Ciudad de México, una línea (L2) puede tener un periodo punta de demanda de varias horas consecutivas, lo que conlleva a tener una frecuencia de despachos alta para ofertar las plazas requeridas por la demanda del servicio.

Anualmente, las redes con más de 200 km de vía en servicio (Londres, París, Madrid y Ciudad de México) despachan en promedio cerca de 1.5 millones de servicios, mientras que las redes de menos de 100 km de vía (Santiago de Chile y São Paulo), generan anualmente cerca de 675,000 despachos en sus redes.

La red de metro de São Paulo, a pesar de ser la red con menor longitud de vía en servicio de todas las redes estudiadas, es la que más despachos diarios y anuales realiza en su línea de mayor producción (L3), con un total de 221,920 despachos anuales (608 diarios), mientras que Madrid '08 presenta la tasa más baja en relación a este indicador con 104,025 despachos anuales (285 diarios), siendo ésta última la segunda red más extensa en estudio. Al no ser una red densificada en su configuración, la red de metro de São Paulo concentra a lo largo de una sola línea una porción significativa de la oferta y demanda del servicio de transporte. Aunque con menor intensidad, igual fenómeno ocurre en Santiago de Chile a lo largo de la línea L1, en donde el 28% de los despachos se generan en esta línea. Caso diferente ocurre en las redes de metro de Londres, París, Madrid y Ciudad de México, en donde las redes han ido densificándose, y por lo tanto, han aliviado la carga de otras líneas que antes estaban sobresaturadas.

En cuanto a los valores mínimos a nivel de línea, Londres es la red que opera la línea con menor cantidad de despachos, 139 diarios y 46,929 anuales.

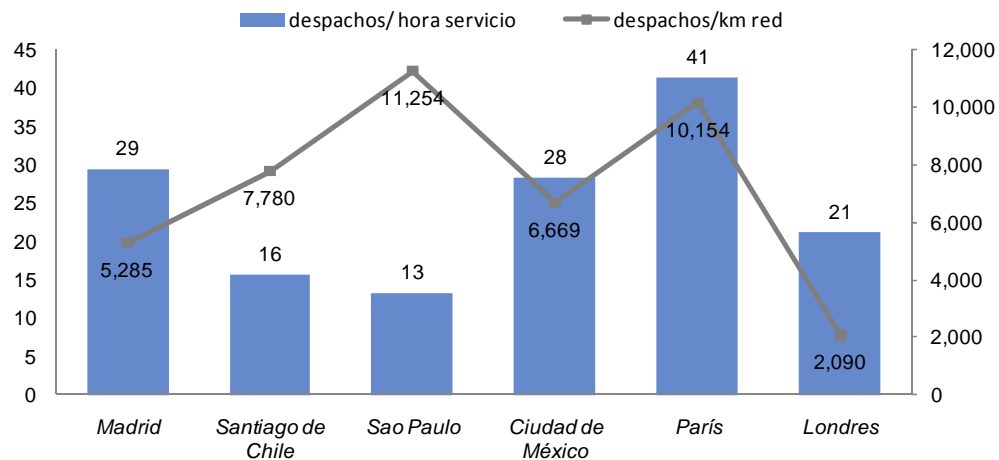
Tabla 3-1. Cantidad de despachos (diarios y anuales) por sentido para las distintas experiencias metro analizadas

Despachos/sentido	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
diarios/red	#	-	4,102	1,814	1,890	3,680	5,789	2,885
anuales/red	#	-	1,497,230	662,037	689,850	1,343,200	2,112,985	996,036
max diarios/línea	#	-	285	525	608	499	470	363
max anuales/línea	#	-	104,025	191,479	221,920	170,232	171,550	123,839
min diarios/línea	#	-	140	240	188	183	215	139
min anuales/línea	#	-	51,500	87,454	68,620	66,229	78,475	46,929

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Al relacionar el número de despachos que cada uno de los sistemas de metro produce durante su operación anual con la longitud de la infraestructura vial, se evidencia que São Paulo acumula por cada kilómetro de red, un total de 11,254 despachos, siendo el más alto de la red, mientras que Londres totaliza 2,090 despacho por km de red. Sin embargo, al analizar el número de despachos que se realizan por cada hora de servicio en un día, São Paulo resulta con el menor índice, totalizando 13 despachos/hora de servicio al día, mientras que París encabeza la lista con 41 despachos/hora de servicio.

Figura 3-2. Despachos diarios por hora de servicio y despachos anuales por km de red en servicio



Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

La frecuencia de paso de los trenes es otro aspecto importante en relación a la oferta de servicio de las redes analizadas. El metro de París es el sistema que ofrece las menores frecuencias de paso (1:00 min a 2:00 min), tanto en hora punta, como en hora valle, estando en concordancia con el mayor número de despachos que ésta red realiza diariamente respecto al resto de redes analizadas. Por otra parte, en hora punta, la red de Santiago de Chile ofrece frecuencias que oscilan entre los 1:40 y 4:00 minutos, mientras que la red Madrid 2008 oscila entre 2:30 y 7:00 minutos. En las horas valle, México opera con frecuencias de 2:10 a 5:50 y Madrid con frecuencias de 15:00 minutos.

Londres es la red de metro que ofrece mayor variación en sus frecuencias de paso, oscilando entre 2:00 minutos (hora punta) a 15:00 minutos (hora valle), mientras que París cuenta con frecuencias similares de paso, tanto en hora punta como en hora valle (1:00 min a 2:00 min).

Las frecuencias de paso están directamente relacionadas con la demanda de pasajeros que se tenga, y las posibilidades tecnológicas y de recursos que se pueda ofrecer para suplir esta demanda. En este sentido, en algunos casos no se cuenta con los equipos y sistemas tecnológicos para realizar una operación segura con frecuencias inferiores a 1:40 minutos. En el caso de París, se cuenta con una alta tecnología y equipos apropiados para operar de manera habitual los trenes con frecuencias entre 1:00 y 2:00 minutos.

Tabla 3-2. Frecuencias de paso para las distintas experiencias metro analizadas

Frecuencia	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Hora punta	min	-	2.30 a 7.00	1:40 a 4:00	1:40 a 5:10	1:55 a 5:50	1:00 a 2:00	2:00 a 10:00
Hora Valle	min	-	15:00	-	12:00	2:10 - 5:50	6:00 a 8:00	4:00 a 15:00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Uno de los indicadores de oferta de servicio más importantes de los sistemas de transporte público masivo, es el número de kilómetros que en total recorren los coches de dichos sistemas. Esto resulta de mayor relevancia en los sistemas ferroviarios, ya que al tenerse diferentes configuraciones de los trenes, el número de kilómetros recorridos por coche da mayor claridad a la realidad de la operación de la red de metro.

En este sentido, la red de metro londinense es la que obtiene un mayor desempeño con un total de 455.8 millones de coche-km anuales, mientras que la red Madrid'95 registró un valor de 93.5 millones. De acuerdo a los registros del año 2008, el metro de São Paulo es el que menos producción tiene en términos de coche-km, debido principalmente al menor tamaño de su red. Le precede Santiago de Chile, cuya red también pertenece al grupo de redes pequeñas, con cerca de 105 millones de coche-km al año. Analizando las redes de Madrid'08, Ciudad de México y París, las cuales tienen longitudes de red en un mismo rango, cabe destacar la elevada producción del metro de Ciudad de México, con 351.9 millones de coche-km al año, superando a París por cerca de 100 millones de coche-km.

Al evaluar este indicador al nivel de líneas, Londres tiene la red con la línea que mayor número de coche-km recorre (73.2 Mill. coches-km), mientras que Madrid opera la línea de metro con menor producción en términos de coche.km (0.6 Mill. coche-km). Cabe resaltar que de los registros analizados por el Grupo Consultor, las redes de metro de las ciudades latinoamericanas registran cifras superiores a los 4.0 Mill. coche-km para la línea con la menor producción de la red, mientras que los sistemas de metro de las ciudades europeas registran cifras entre 0.6 y 0.9 Mill. coche-km.

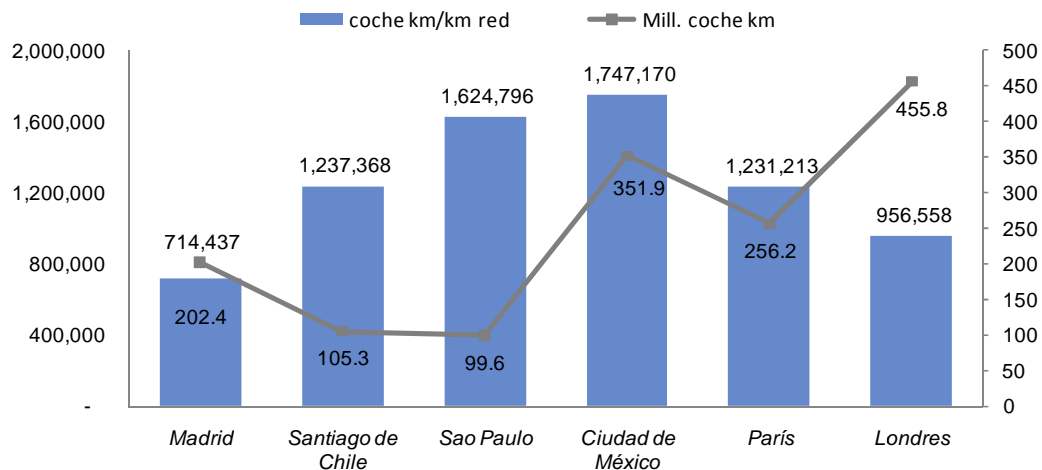
Tabla 3-3. Valores de coches-km (en millones) para las distintas experiencias metro analizadas

Coches-km	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
red	M(coche-km)	93.5	202.4	105.3	99.6	351.9	256.2	455.8
maxima	M(coche-km)	17.9	24.6	36.0	44.2	66.35	24.4	73.2
minima	M(coche-km)	0.6	0.6	4.0	4.7	4.7	0.7	0.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Relacionando las variables de coche-km y kilómetros de red en servicio, se observa que Ciudad de México registra un mayor rendimiento, con aproximadamente 1.74 millones de coche-km por kilómetro de red, seguido de São Paulo y Santiago de Chile, con 1.62 y 1.23 millones coche-km/km de red. Por el contrario, la red de metro de Madrid y Londres registran los menores rendimientos en esta materia. Este desempeño da una buena visión de la producción operacional de la red, respecto a su tamaño, y claramente deja en evidencia que no necesariamente las redes más extensas en infraestructura, son aquellas que operacionalmente tienen una mayor producción de servicio.

Figura 3-3. Indicadores de producción coche-km



Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

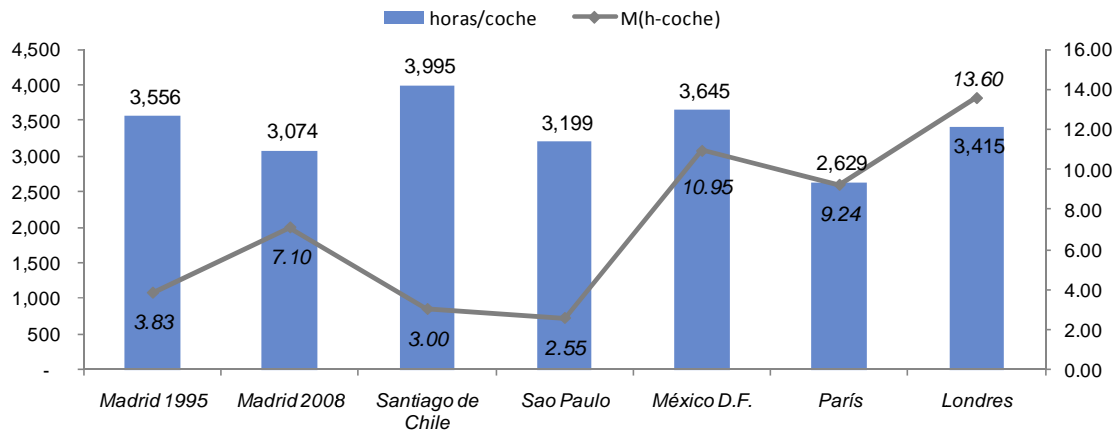
En relación a las horas-coche de las redes en estudio, la red de metro de Londres opera un total de 13.6 millones horas-coche al año, siendo la de mayor desempeño entre los casos analizados, seguida por la red de metro de Ciudad de México con 10.9 millones de horas-coche. Por su parte, el sistema de metro de Santiago de Chile es el que oferta un menor número de horas-coche, con un total de 3.0 millones de horas-coche al año. Al relacionar el número de horas-coche con el número de coches que operan en la red, se obtiene el número de horas de servicio de cada coche. En este sentido, el promedio de horas de operación al año de cada coche en las 6 redes de metro estudiadas asciende a 3,326 (excluyendo Madrid'95). El sistema de Santiago de Chile registra el mayor número de horas de operación por coche, con 3,995 horas, mientras que París se sitúa como la red de metro con menor número de horas de operación por coche, con 2,629 horas.

La mayor operación de los coches en la red de Santiago, responde a la necesidad de ofrecer una mayor capacidad luego de la entrada en servicio del sistema integrado de transporte Transantiago. Mediante la implementación de ciertas medidas, tales como la operación de servicios expresos en algunas líneas, la puesta en marcha de bucles en algunos tramos, así como una operación con intervalos de paso bajos, la red de Santiago de Chile hace una explotación más intensa de su equipo móvil. Es importante tener en cuenta que el operador de esta red no tiene coches de reserva, y dado la alta operación de éstos, el programa de mantenimiento es bastante riguroso, toda vez que no hay margen para que haya coches fuera de servicio no programado.

Es importante resaltar el hecho que, en la red de Santiago, a pesar de tener el nivel más bajo de horas-coche de operación al año, al hacer un análisis más detallado se evidencia que ésta red hace una

explotación más intensa de su material rodante, respecto a otras ciudades, lo cual está en concordancia con otros aspectos que se han evaluado anteriormente.

Figura 3-4. Indicadores de producción horas-coche



Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

No obstante lo anterior, al examinar los datos para las líneas con máxima y mínima producción, la red de metro de Ciudad de México registra la línea con mayor número de horas-coche, con aproximadamente 2.21 millones de horas-coche, mientras que París y Londres operan las líneas con menor producción en términos de horas-coche, con algo más de 0.03 millones de horas-coche.

Tabla 3-4. Horas-coche (en millones) para las distintas experiencias metro analizadas

Horas-coche	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
red	M(h-coche)	3.83	7.10	3.00	2.55	10.95	9.24	13.60
máxima	M(h-coche)	0.79	1.09	1.38	1.05	2.21	0.92	2.08
mínima	M(h-coche)	0.04	0.04	0.09	0.15	0.16	0.03	0.03

Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

El último indicador de comparación relacionado con la productividad corresponde a la oferta de plazas por kilómetro recorrido que ofrecen los diferentes servicios. El sistema de Londres nuevamente obtiene un mayor registro con un valor de 83,058 millones de plazas-kilómetro; por su parte, São Paulo ofrece un total de 22,636 millones de plazas-kilómetro, siendo el sistema de metro que menor oferta en este sentido hace. Esto se explica dada la alta producción de coche-km en la red de Londres, la cual registró para 2008 455 millones de coche-km, y por el contrario, la baja producción de coche.km de Sao Paulo, con algo más de 99 millones de coche-km.

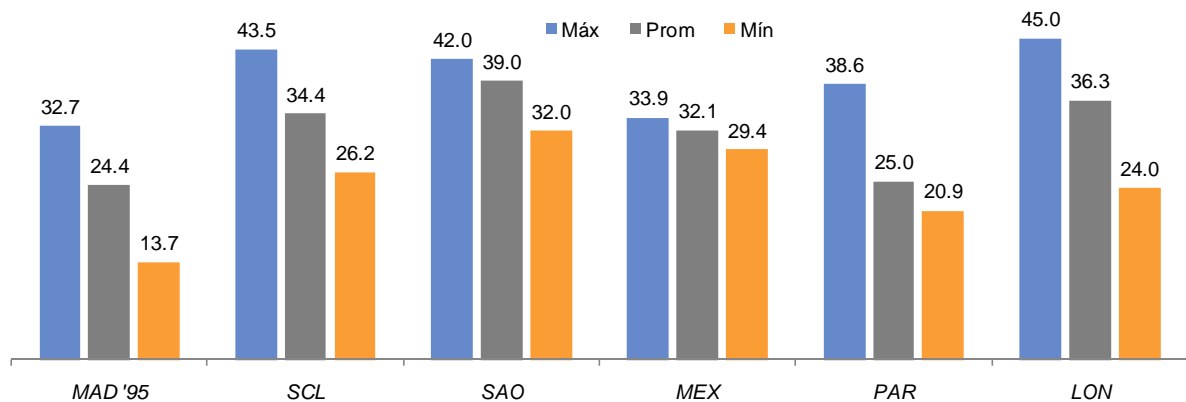
Tabla 3-5. Oferta de plazas-km (en millones) para las distintas experiencias metro analizadas

Capacidad kilométrica (Plazas-km)	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
red	M(pl-km)	-	33,000	24,900	22,636	59,820	26,400	83,058
maxima	M(pl-km)	-	-	-	10,056	11,280	-	12,889
mínima	M(pl-km)	-	-	-	1,069	808	-	152

Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Al analizar las velocidades comerciales con las que opera cada una de las redes consideradas, cabe destacar el sistema operado en la ciudad de São Paulo, el cual moviliza su flota a una velocidad comercial promedio de 39 km/h, siendo ésta la velocidad promedio comercial más alta entre las ciudades analizadas. La red con una velocidad comercial promedio más baja es la de Madrid'95, con una circulación promedio de 24.4 km/h. Analizando las líneas de forma independiente, se observa que en la red de Madrid 2008 se opera una línea que circula a 56.1 km/h (dicha línea tiene la característica de recorrer únicamente zonas periféricas de la ciudad con una distancia entre estaciones elevada), siendo ésta la más veloz. Asimismo, la misma red opera una línea cuya velocidad comercial es de 12.3 km/h de, situada en el corazón de la capital, y siendo la más lenta entre todas las redes analizadas en el estudio.

Figura 3-5. Velocidades comerciales (km/h) para las distintas experiencias metro analizadas

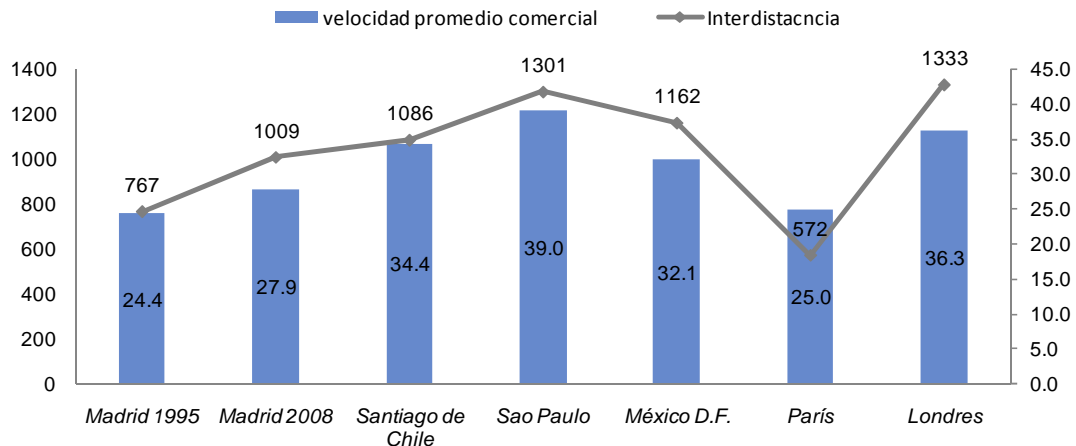


Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Como es de suponerse, la velocidad comercial de una red de metro depende principalmente de la distancia entre estaciones, aunque existen otros factores tecnológicos que igualmente influyen, pero en menor medida. En este sentido, al analizar la relación entre la velocidad promedio y la interdistancia entre estaciones, resulta que a mayor interdistancia, mayor es la velocidad comercial de la red.

Las redes de metro de Londres y São Paulo, con las interdistancias superiores a los 1,300 m, operan con velocidades promedio por encima de los 36 km/h, siendo éstas las más altas de los casos estudiados, mientras que París y Madrid'95, con una interdistancia inferior a los 760 m, operan (operaban) con las velocidades más bajas entre las ciudades estudiadas, es decir con velocidades inferiores a los 25 km/h.

Figura 3-6. Velocidad comercial promedio (km/h) e interdistancia (m) para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

3.1.2 Demanda de servicio

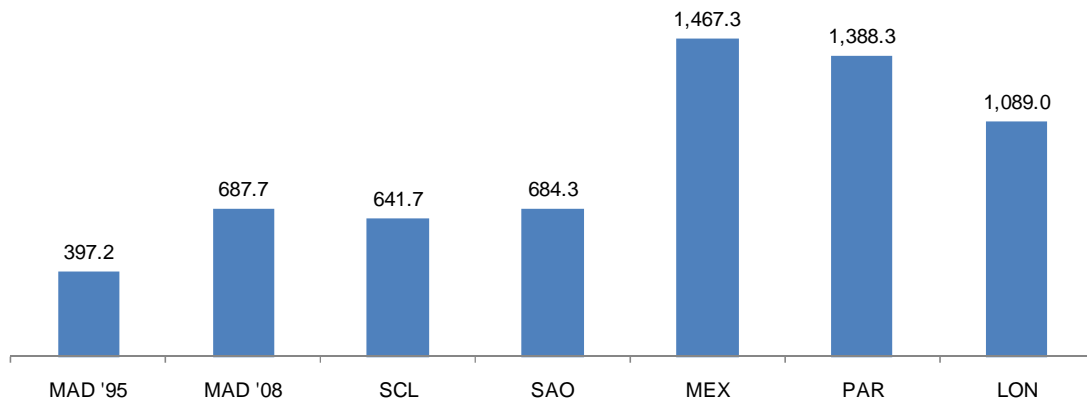
En este segundo apartado correspondiente al Eje 2, se analizan las diferentes variables e indicadores descriptivos de la demanda de servicio en los diferentes casos analizados, aspectos relativos a parámetros de viajes realizados, así como a la caracterización de los desplazamientos.

Para el año 2008, la red de metro de Ciudad de México sirvió en total una demanda de 1,467 millones de pasajeros, lo cual la convierte en el sistema con mayor número de viajes entre los casos estudiados, seguida por la red de metro de París con 1,388 millones de pasajeros, y una longitud de red muy similar. Por otra parte, Madrid'95 registró, para el año 1995, una demanda cerca de cinco veces inferior, es decir, de 397 millones de pasajeros anuales, siendo el valor más reducido de los casos estudiados. La demanda de la red de Madrid ha experimentado desde entonces un crecimiento relevante, de cerca del 170%, registrando para el 2008 una demanda total de 687 millones de pasajeros, situándose en niveles similares a los de sistemas como el de Santiago de Chile o São Paulo, aunque estos últimos con una infraestructura vial de 3 a 4 veces más pequeña.

Es de destacar en este apartado, el caso de Santiago de Chile, el cual entre 2006 y 2007 sufrió un cambio drástico en la demanda de pasajeros, al pasar de 331 millones a 600 millones de pasajeros. Este cambio en la demanda se debió indiscutiblemente a la implementación del sistema integrado de transporte público TranSantiago, el cual tiene como eje principal la red de metro. Lo anterior teniendo en cuenta que la red de metro en el periodo de crecimiento de la demanda antes mencionado no fue objeto de extensiones.

De igual manera cabe destacar la reducción en el uso del servicio de metro de Ciudad de México, el cual pasó de transportar 1,542 millones de pasajeros en 1989, a 1,273 millones en 1999, recuperándose desde entonces hasta llegar a los niveles actuales. Esta reducción se debe principalmente al aumento en la oferta de servicio de transporte público tradicional en superficie, de acuerdo la información recabada por el Grupo Consultor.

Figura 3-7. Demanda anual medida en millones de pasajeros para las distintas experiencias metro analizadas



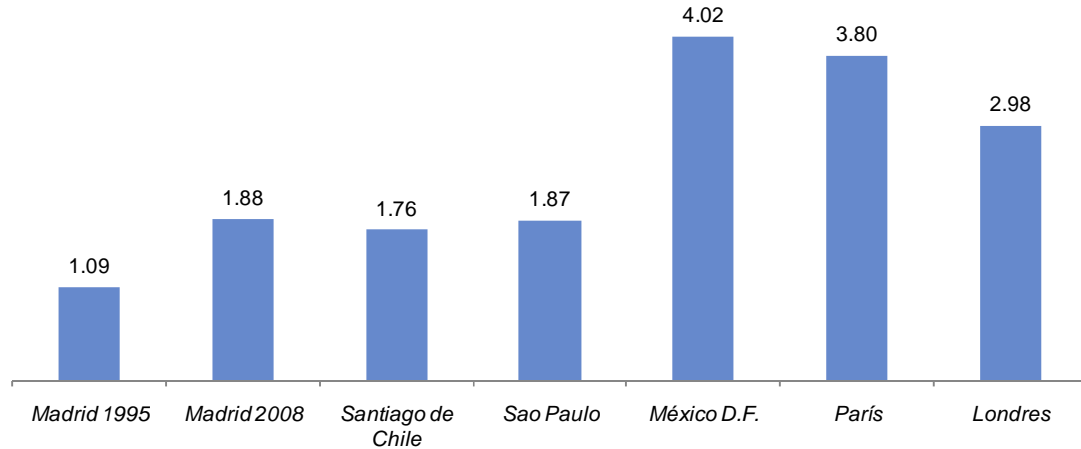
Fuente: Elaboración propia de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Con respecto a la demanda de pasajeros a nivel de líneas en los sistemas estudiados, la línea L3 del metro de São Paulo, con 22 km de longitud, se consolida como la línea que mueve un mayor número de pasajeros anualmente, con algo más de 312 millones. La línea de metro con menor demanda pertenece a la red de Madrid'08, línea ML (5.4 km), registrándose 1.7 millones de viajes al año.

Por otra parte la estación que tiene una mayor demanda pertenece a la red de metro de Ciudad de México, estación Pantitlán, con una demanda de 118.9 millones de pasajeros anuales. A esta estación confluyen las líneas L1, L5, L9 y LA. En segundo lugar de afluencia está París con una demanda anual de 78.4 millones de pasajeros. De las ciudades estudiadas, la estación Moncloa en la red de metro de Madrid registra la menor afluencia máxima, con 20.5 millones de pasajeros al año.

De la demanda diaria promedio de los sistemas registrados, tomada ésta como el promedio aritmético de la demanda anual, la red de metro de Ciudad de México resulta con la mayor afluencia diaria, con 4.02 millones de pasajeros, seguida por París (3.8 millones), y Londres (2.98 millones). En un segundo grupo de ciudades, con afluencias diarias inferiores a 1.9 millones de pasajeros, se encuentran las ciudades de Madrid, Santiago de Chile y São Paulo. De estos datos, se evidencia que la red de metro de Madrid, a pesar de ser la red con la segunda mayor longitud, tiene una demanda muy inferior en comparación con redes de tamaño similar, tales como París y México, que incluso son menores.

Figura 3-8. Demanda diaria promedio en millones de pasajeros para las distintas experiencias de metro analizadas



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la demanda diaria a nivel de línea, el volumen máximo registrado corresponde al sistema de Santiago de Chile, en el cual se alcanza un total de 968,879 pasajeros en la línea L1, que recorre la ciudad de oriente a occidente, pasando por el centro de la ciudad. De los datos disponibles para las ciudades en estudio, la línea L6 de la red de metro de Madrid registra la menor demanda máxima por línea, con 327,849 pasajeros por día, es decir, casi un 200% inferior que Ciudad México. Las tres redes de metro de ciudades latinoamericanas estudiadas, registran volúmenes de demanda diaria por línea, en un rango de entre 850,000 y 970,000 pasajeros, lo cual da cuenta de una alta afluencia de usuarios al sistema.

Al examinar los volúmenes de demanda de pasajeros en hora punta, la línea L2 del metro de Ciudad de México registra la mayor concentración de pasajeros, con cerca de 445,000 pasajeros. Cabe resaltar que, de acuerdo a la información oficial recabada por el Grupo Consultor, éste periodo punta se presenta en la tarde, y transcurre por varias horas. Este fenómeno ha ocurrido históricamente en esta línea, siendo más crítico a finales de los 80s y comienzos de los 90s, en donde se llegó a registrar demandas en “hora” punta de hasta 566,543 pasajeros. Estas cifras corresponden, en los dos casos, a cerca de la mitad del volumen de pasajeros diarios transportados en la línea L2, con lo cual se infiere que el perfil de carga de esta línea tiende a concentrarse en varias horas del periodo de la tarde.

La red que muestra una mayor aceleración en su demanda o crecimiento interanual es Santiago de Chile, con un promedio del 13.1%, registrando para el año 2000 un total de 208 millones de pasajeros, y para el año 2008 un total de 641.7 millones. Este incremento en la demanda, como se ha mencionado anteriormente, se debe principalmente a la implementación de TranSantiago, para el periodo posterior a 2007, y antes de esto el incremento ha sido propiciado por el aumento de longitud de vía, superior al 100% durante el período considerado. Contrariamente, el caso de la red mexicana ha sido la que ha experimentado el crecimiento anual más lento, con un 0.6% interanual entre los años 2000 y 2008, pasando de 1,393.1 a los 1,467.4 millones, período en el cual no se realizó extensión alguna.

Tabla 3-6. Valores de demanda para las distintas experiencias metro analizadas

Demanda anual	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
red	Mpax	397.2	687.7	641.7	684.3	1,467.3	1,388.3	1,089.0
media línea	Mpax	36.1	40.5	128.3	171.1	133.4	86.8	99.0
maxima	Mpax	82.3	119.7	272.1	312.7	284.5	-	-
mínima	Mpax	2.9	1.7	20.9	33.7	22.9	-	-
estación max	Mpax	15.8	20.5	28.4	70.8	118.9	-	78.4
Demanda diaria línea max	pax	225,381	327,849	968,879	888,618	859,000	-	-
Demanda diaria promedio	pax	1.09	1.88	1.76	1.87	4.02	3.80	2.98
Demanda hp línea max	pax	-	33,536	70,247	160,000	444,893	-	-
Crecimiento interanual de la demanda	%	-	4.1%	13.1%	4.2%	0.6%	-	2.4%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

3.1.3 Desplazamientos metro

Las características propias de los viajes que realizan los usuarios de las redes de metro se describen a través de varios aspectos, tales como el número de transbordos, el tiempo medio de viaje y la distancia media de viaje de los mismos. A pesar de ser datos relevantes en la operación de los metros, la consecución de esta información no es sencilla, y solo en algunos casos se obtuvo. Por tal razón, el análisis comparativo de las características de viaje de los usuarios se limita a algunos metros solamente.

El número de transbordos medios es uno de los indicadores utilizados para conocer las características de los desplazamientos de los pasajeros dentro del sistema metro. En este sentido se destacan los valores obtenidos para la red de Madrid de 0.5 transbordos, lo cual indica que en promedio, cada pasajero utiliza más de una línea para completar su viaje. El otro valor registrado para este indicador es el correspondiente a la red de metro de São Paulo, con 0.04 transbordos por viaje promedio, lo cual indica que los usuarios de metro realizan muy pocos transbordos para llegar a sus destino final. Esto se puede interpretar de dos maneras distintas, si se tiene en cuenta la configuración de la red de metro de esta ciudad. En primer lugar, este fenómeno se puede asociar a la extensión de la red actual, la cual, cubre solo una fracción muy pequeña del área urbana de São Paulo. Por tal razón, los viajes en metro, o bien no se completan hasta el destino final del usuario, o bien se finalizan utilizando otro modo de transporte, el cual no se tiene en cuenta en este indicador.

De otra parte, es también importante recalcar que el número de transbordos está directamente asociado al grado de flexibilidad de la red (posibilidades de transferencia / # estaciones), con lo que la red de São Paulo, como se presentó en el capítulo anterior, registra el índice más bajo entre las ciudades estudiadas, con tan solo 0.05 posibilidades de transferencia por cada estación de la red. Es decir, la red de metro de São Paulo no cuenta con una interconexión entre sus líneas fuerte, que permita realizar viajes completos a los diferentes puntos cardinales de la ciudad. Un ejemplo claro de esto es la actual línea L5 del metro. Esta línea no está articulada con las otras líneas de metro, y solo cuenta con una posibilidad de transbordo hacia el sistema de trenes urbanos de la ciudad.

Otra variable de comparación que caracteriza de manera real los viajes de los usuarios, es la cantidad de kilómetros promedios recorridos por un usuario en cada viaje realizado. Este indicador está directamente relacionado con el tamaño de la ciudad, la distribución de los centros de actividades en la misma, y la configuración de la red. Al tener en cuenta estos tres parámetros, la red donde el usuario recorre mayores distancias es la operada en Ciudad de México, en la cual un usuario usa el metro en una distancia promedio de 10.8 km por viaje, mientras que en París el usuario realiza en promedio un desplazamiento de 4.96 km por viaje. Para el caso de Ciudad de México, al ser ésta la ciudad más extensa que se ha estudiado, con una configuración dispersa de sus centros de actividades, resulta entendible que sea la

red en donde los usuarios recorren una mayor distancia en sus viajes con el metro. Para el caso de París, se debe tener en cuenta que aproximadamente el 90% de la red del metro se encuentra en el centro de la ciudad, en un área de 105 km², y un diámetro promedio de 9.0 kilómetros. De esta manera, los viajes que se realizan en París tienen una mayor probabilidad de realizarse en distancias menores a las de México, e incluso que las otras ciudades.

Tabla 3-7. Kilómetros recorridos por el usuario para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Km recorridos usuario	km	-	8.81	6.88	9.92	10.80	4.96	9.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

3.1.4 Áreas Complementarias

En referencia a los sistemas de control y protección más utilizados por las distintas redes de metro analizadas, se observa que en los casos de Madrid, São Paulo, México y París se utilizan sistemas ATP en la mayoría de sus líneas, además de implementarse en algunas de ellas líneas sistemas ATO (operación automática de los trenes). Es decir, en todos los casos se utilizan diferentes tecnologías, las cuales garantizan, unas en menor medida que en otras, la seguridad en la operación habitual de la red. Sólo en casos de emergencia, o de fuerza mayor, se opera los trenes en modo manual, con sus consecuentes riesgos en seguridad. Los casos estudiados cuentan igualmente con centros de control de operaciones, desde donde se monitorea y regula la operación de las diferentes líneas.

La integración modal es un aspecto fundamental a tener en cuenta en la evaluación comparada de los distintos casos estudiados. En este sentido, los sistemas de metro de Madrid, Londres, y São Paulo se perfilan como los de mayor grado de integración con otros modos de transporte público, congregando bajo un solo sistema tarifario a todos los modos de transporte público que circulan en la ciudad. En París el sistema es algo diferente ya que los billetes dan opción a un trayecto con posibilidad de un intercambio modal condicionado (RER + Metro o Bus + Tramway) durante 1h30min, aunque no se permite un intercambio entre el metro y, o bien bus, o bien Tramway.

En un punto medio se encuentra el sistema metro de Santiago de Chile, donde existe integración con la red de autobuses de TranSantiago, tanto los alimentadores, como los autobuses troncales. En el extremo se encuentra Ciudad de México, donde el sistema metro no se integra con ninguno de los demás transportes públicos que operan en la ciudad, aunque cabe destacar que en dicho sistema el acceso tiene un costo reducido.

Tabla 3-8. Integración tarifaria para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Integración tarifaria	--	Autobús, metro ligero, tren de cercanías, metro	Autobús, metro	Autobús, trolebús, tren de cercanías, metro	no hay integración	Tren de cercanías, metro	Autobús, tranvía, tren de cercanías,

Fuente: Elaboración propia

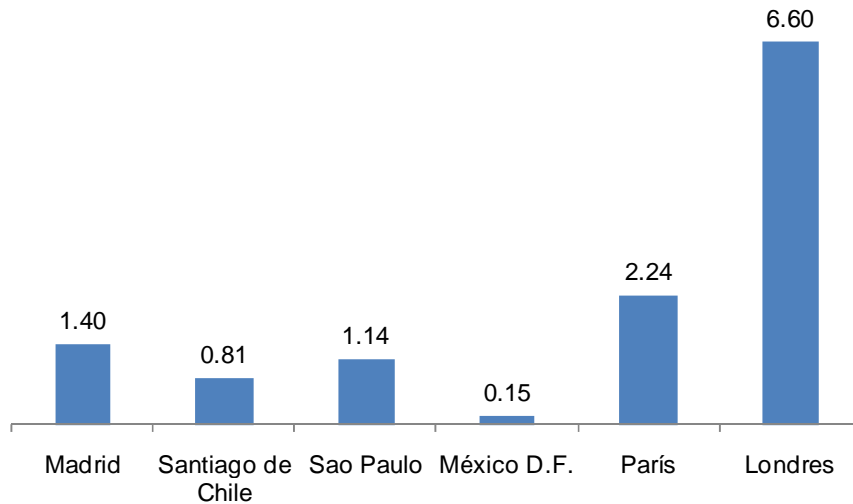
Otro aspecto importante en la caracterización del sistema tarifario es la cantidad de zonas de tarificación que se definen, las cuales suponen un incremento del precio del billete a medida que se pretende recorrer más zonas. En particular, de la comparación de los casos analizados se observa que los sistemas metro europeos realizan esta división geográfica de la red en distintas zonas; por el contrario,

las redes latinoamericanas no contemplan este sistema. Por ejemplo, París se encuentra seccionado en 6 zonas, Madrid en 8 y Londres en 9.

En el sistema tarifario de Santiago de Chile, el costo de cada viaje varía dependiendo de la hora en que el usuario desee movilizarse en el metro. En los periodos punta de la mañana y tarde, el billete de viaje tiene un valor 14% más elevado que en los periodos valle del día, e incluso, en los periodos de baja demanda el costo disminuye en cerca de un 20%, lo cual tiene un objetivo principal. Esto es, que en las horas de mayor afluencia, los usuarios paguen algo más de lo normal por el servicio, a modo de desincentivo, y a su vez incentivar y promover el uso del metro en horas valle y de baja demanda.

Es primordial poder comparar los valores de los abonos sencillos para cada una de los casos evaluados. En este sentido, la red mexicana es la más económica con un precio para el billete de 15 centavos de dólar (no se encuentra integrado a los demás modos de transporte). Vale la pena resaltar que el sistema de metro de Ciudad de México recibe un subsidio importante por parte del Gobierno Federal. Este valor contrasta con los 6.6 US\$ al que equivale un billete sencillo en la red de metro londinense, la cual resulta como la más costosa entre las ciudades estudiadas. El billete sencillo de la red de Santiago cuesta 0.81 US\$, el de São Paulo 1.14 US\$ y el de París 2.24 US\$.

Figura 3-9. Valores (actuales) en dólares de los abonos sencillos para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia

Nota: Santiago de Chile el abono sencillo puede bajar a 0.71 y 0.67 dólares en horas valle y de baja demanda

Con respecto a los abonos tarifarios ofrecidos en los diferentes servicios, existen diferentes criterios y modalidades dentro de cada una de los sistemas de metro evaluados. Un usuario del metro de Madrid puede comprar un abono mensual para la zona 1 por 64.4 US\$, amortizable con un mínimo de 46 viajes mensuales. Por su parte los usuarios del servicio parisino deben pagar 77.14 US\$ para comprar el abono mensual de la zona 1, el cual equivale a 34 billetes sencillos, es decir, si el usuario realiza más de 34 viajes le convendrá disponer de un abono. El abono mensual de zona 1 en la ciudad de Londres tiene un valor de 163.52 US\$ y se amortiza a partir del vigésimo sexto viaje.

En cuanto al grado de satisfacción del cliente, éste es un dato que sólo fue obtenido por las redes madrileña y londinense, calificándose sendos a dichos sistemas con 7 puntos (7.12 en 1995) y 7.83 respectivamente.

3.1.5 Desempeño de la explotación

Para completar el análisis comparativo del presente eje, es importante presentar algunos indicadores operacionales que dan una perspectiva más clara del desempeño de cada una de las redes estudiadas.

En primer lugar, el kilometraje promedio de los coches en un año, da cuenta del grado de utilización a que se ve sometido el material rodante de cada sistema. En este sentido, al observar los datos recabados por el Grupo Consultor, se constata que el grupo de metros latinoamericanos realiza una mayor explotación de cada uno de sus coches, con un promedio de 127,400 km, y alcanzando los 140,213 km al año para el caso de Santiago de Chile, 124,812 km para São Paulo y 117,176 para el caso de Ciudad de México. El grupo de ciudades europeas registra un promedio inferior, en especial Madrid y París, las cuales están por debajo de los 90,000 km anuales. Este indicador representa de buena forma las limitaciones que existe en cuanto a la adquisición de material rodante en las ciudades latinoamericanas, pero de igual manera, en donde los presupuestos para los sistemas de metro no son tan holgados como en el contexto europeo.

Otro indicador importante es la cantidad de despachos anuales por coche en operación, el cual da una idea del número de despachos respecto al tamaño del material rodante. Nuevamente, la red chilena es la que experimenta un mayor valor con un promedio de 882 despachos anuales por coche, mientras que en la red londinense cada vehículo realiza en promedio 250 despachos anuales, lo cual se justifica, en parte, debido a que Londres cuenta con la flota más numerosa y con un número de despachos no tan alto, en comparación con su tamaño, tal y como se presentó en el numeral anterior.

Al tener en cuenta la oferta de plazas del servicio metro, y la demanda real que tuvo el servicio en un periodo de tiempo determinado, se puede obtener el factor de carga para cada sistema, el cual da una idea clara del nivel de ocupación promedio de la red. En este sentido, la relación entre la cantidad de pasajeros y el número de plazas ofrecidas para el caso de la red de metro de París registra un factor de 0.91, lo cual indica una alta ocupación promedio de su material rodante. Londres y Ciudad de México presentan, de acuerdo a los cálculos estimativos hechos por el Grupo Consultor, una ocupación promedio del 72% aproximadamente, mientras que Madrid presenta la ocupación más baja entre las ciudades estudiadas, con tan solo un 28%, en promedio. Este último caso resulta de la baja demanda que se tiene y de la amplia oferta que ofrece el metro, estando en concordancia con otros indicadores de desempeño, en donde ésta red ha mostrado bajos niveles en cada caso particular.

Un indicador de desempeño operacional utilizado ampliamente en el mundo es el índice de demanda, el cual determina la cantidad de pasajeros promedio que utilizan el servicio por cada kilómetro de red en cada hora de servicio. Esto da una idea del volumen de pasajeros en relación directa con el tamaño de la red, y a su horario de atención. En este sentido, la red São Paulo con 1,505 pax/(km red-h) es la red que ofrece un mejor desempeño, mientras que Madrid y Londres, con 334 pax/(km red-h) y 321 pax/(km red-h), respectivamente, son las redes que más bajo desempeño muestran en esta materia.

El desempeño de las redes de metro de las diferentes ciudades estudiadas debe examinarse en contraste con los contextos locales en donde operan los sistemas, dado que existen externalidades que influyen de manera directa en la operación de los mismos, y que no responden necesariamente a criterios de demanda u oferta. Así las cosas, la explicación al bajo o alto desempeño de las redes de metro antes expuestas depende de varios factores a saber.

En primer lugar, los sistemas de metro europeos en general disponen de mayores recursos económicos que los latinoamericanos, y en consecuencia, disponen de mayores posibilidades para la compra de material rodante, y para extender/ densificar sus redes. Esto, influye directamente sobre la operación de las redes, ya que por un lado, el material rodante en las ciudades latinoamericanas va ser objeto de una

mayor explotación, y por el otro, la infraestructura va a estar más sobrecargada, dada las limitaciones de expansión de la red, y por ende de aliviar la carga en las más cargadas.

Este último punto está a la vez ligado al hecho que las redes de metro latinoamericanas no están consolidadas, es decir, no han tenido el desarrollo y expansión que su contraparte en Europa, las cuales tienen todas más de 90 años de funcionamiento y han consolidado su operación hace varias décadas. Esta situación se refleja en la alta carga que las primeras líneas de metro latinoamericanas han tenido históricamente, y responde a la necesidad de brindar el servicio de metro en las áreas de la ciudad de más alta densidad, y por ende, de más alta demanda de pasajeros. Una vez empiecen a densificarse las redes de metro en Latinoamérica, especialmente en Sao Paulo y Santiago de Chile, la carga entre líneas cercanas será más equilibrada, y en consecuencia, los indicadores de desempeño no serán del nivel que hoy en día registran.

Otro aspecto que igualmente influye en la diferenciación entre el desempeño operacional de las redes de metro de Latinoamérica y Europa, es el hecho que se utilizan parámetros de diseño diferentes. Mientras que las redes de metro europeas utilizan por lo general una ocupación de los coches de 4 pasajeros por metro cuadrado en su diseño, en el contexto latinoamericano esta densidad asciende a los 6 e incluso 7 pasajeros por metro cuadrado, con lo cual las condiciones de la operación cambian drásticamente, evidenciándose claramente un mejor desempeño o eficiencia en las redes latinoamericanas que en las europeas. Como resultado de lo anterior, el nivel de servicio en las redes latinoamericanas es inferior al europeo, acentuándose más en algunas líneas que en otras de menos carga.

Por esta razón, dados los niveles de servicio exigidos en las redes europeas, a igual volumen de demanda, se requiere de mayor frecuencia; en otras palabras, dado un nivel de demanda determinado, se requiere de una flota vehicular mayor para alcanzar ciertos niveles de servicio. Incluso, en algunos casos se exige al operador que disponga de servicios con un intervalo que en principio no está relacionado con suplir unas necesidades de demanda, sino que responde más a darles un menor tiempo de espera a los usuarios del servicio metro. En este sentido, el nivel de servicio ofrecido a los usuarios es mayor, pero se sacrifica una porción importante del desempeño operacional de la red.

Tabla 3-9. Indicadores de desempeño de la explotación para las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Utilización vehicular	km	86,885	87,619	140,213	124,812	117,176	72,892	114,436
Despachos anuales/Coche	#	-	648	882	864	447	601	250
Factor de carga	pax/plazas	-	0.28	0.65	0.61	0.71	0.91	0.72
Índice de demanda de la red	pax/(km red - h)	462	334	1,247	1,505	1,075	912	321

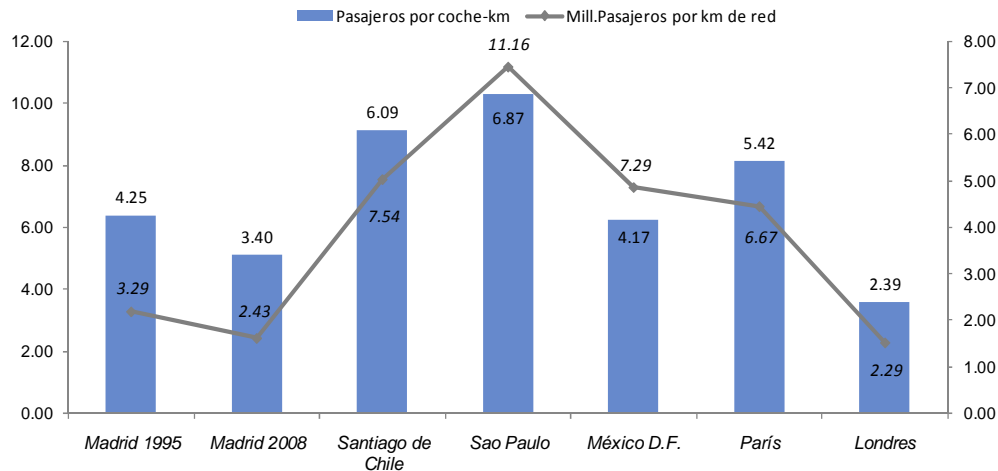
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Al relacionar el número de pasajeros movilizados al año con el recorrido total de kilómetros de cada coche (coche-km), se evidencia que para el caso de la red de São Paulo, ésta resulta con el mayor índice entre todas las ciudades estudiadas, con algo más de 6.87 millones de pax/coche-km, es decir, por cada kilómetro que recorre un coche del sistema, se transportan 6.87 pasajeros. En el extremo contrario está la red de metro de Londres, la cual mueve 2.39 pasajeros por cada coche-km, precedida por Madrid 2008 con 2.43 pax/coche.km.

Por otro lado, al analizar la demanda de pasajeros con la longitud de la red en cada una de las ciudades estudiadas, se tiene que, al igual que en el caso pasado, la relación entre estas dos variables resulta para el caso de São Paulo como la más alta, con aproximadamente 11.16 millones de pasajeros anuales por cada kilómetro de red en operación. Seguidamente están las redes de Santiago de Chile y Ciudad de México con 7.54 y 7.29 millones de pax/km de red, respectivamente. Como ha sido usual a lo largo del

presente análisis, las ciudades europeas presentan índices menores de desempeño al relacionarse el tamaño de su red con otras variables. Es así como Londres y Madrid registran índices de 2.39 y 2.43 millones de pasajeros al año por cada kilómetro de red, respectivamente, ocupando los últimos lugares entre las ciudades analizadas.

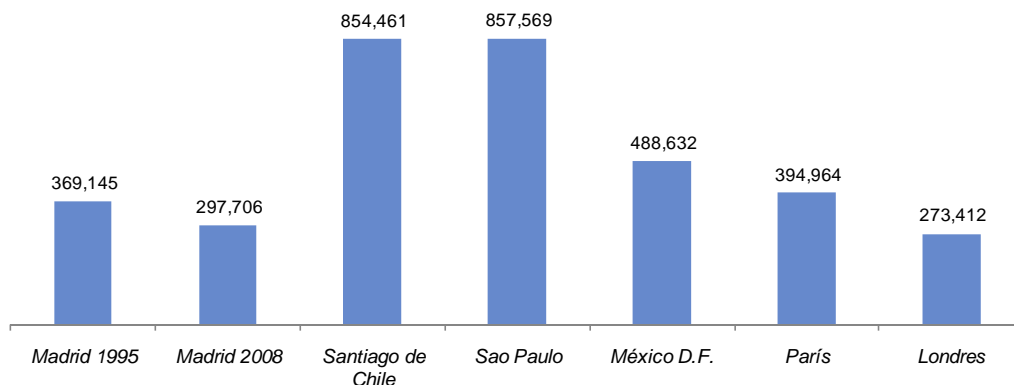
Figura 3-10. Pasajeros por coche-km (pax/coche-km) y pasajeros por km de red (en millones) para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Como ha sido una constante a lo largo del análisis operacional de las diferentes redes de metro en el presente estudio, las redes de metro de Santiago de Chile y São Paulo presentan los índices más elevados en cuanto a la cantidad de pasajeros movilizadas por cada coche, con un valor entre 854,000 y 858,000 pasajeros anuales por cada coche. La siguiente red de metro en lo referente a este indicador es la de Ciudad de México, con 488,632 pax/coche, la cual presenta un indicador aproximadamente un 75% inferior respecto a Santiago de Chile y São Paulo. Las demás ciudades (Londres, París y Madrid), presentan indicadores inferiores a los 400,000 pax/coche, con especial atención en la red de Londres, en donde anualmente cada coche transporta en promedio tan solo 273,412 pasajeros, es decir, cerca de un 213% menos que las redes de Santiago de Chile y São Paulo.

Figura 3-11. Pasajeros movilizadas por coche operativo (pax/coche) para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

3.2 Fortalezas y debilidades asociadas a la operación de los sistemas metro analizados

En el presente apartado se realiza la identificación de fortalezas y debilidades relacionadas con la operación del sistema metro en términos de oferta y demanda asociadas al sistema, detallándose a continuación los principales aspectos a considerar.

3.2.1 Fortalezas

En los sistemas de metro latinoamericanos se observa una mayor optimización de los recursos físicos para la operación de metro, en comparación con las redes de metro europeas. Al comparar indicadores que relacionan su oferta de servicios y la demanda de pasajeros con variables relativas a su infraestructura, y a su material rodante, en general éstos índices dan cuenta de un mayor aprovechamiento y explotación de los equipos e infraestructura. En últimas, esto tiene directa relación con la mayor limitación que existe en el contexto latinoamericano para la ejecución de las obras y la compra de material rodante, lo cual se ve reflejado en el mayor uso posible de sus recursos. En el caso europeo, los sistemas cuentan con mayores presupuestos para su operación, por lo que la presión por optimizar los mismos no es tan alta.

Lo anterior se constituye en una fortaleza en términos de calidad del servicio para los casos europeos, ya que los coches y las estaciones no operan en condiciones de saturación máxima habitualmente, como sí ocurre en los casos latinoamericanos. Esto se debe en parte, a que los estándares de calidad para los usuarios europeos son más altos, sacrificando parte de la eficiencia en la operación, por comodidad para los usuarios.

A su vez, la alta frecuencia de paso asociada a los trenes operados en el sistema metro, cuyo intervalo puede llegar a ser menor a los 2 minutos en períodos punta de la demanda, permite ofertar un elevado número de plazas a los viajeros. En este aspecto influye de manera directa los sistemas y equipos de apoyo que sirven a la operación del metro, toda vez que sin la adecuada tecnología, intervalos por debajo de los 2 minutos no serían posibles bajo condiciones de seguridad mínimas, que garanticen la protección de los usuarios y el material rodante.

De igual manera, conviene resaltar las diferentes maneras como se ha logrado aumentar la oferta del servicio sin tener que hacer modificaciones importantes y costosas a la infraestructura, y sin aumentar el material rodante. En tal sentido, la operación expresa de trenes, la cual consiste en poner dos diferentes servicios en una determinada línea, los cuales se detienen intercaladamente en ciertas estaciones, ha demostrado ser efectiva a la hora de ofrecer mayor capacidad al sistema, y no implica actuaciones que tengan costos significativos. De otra parte, la puesta en marcha pequeños circuitos dentro en los tramos de línea más cargados también ha generado una mayor oferta de servicio, con un efecto adicional importante, y es el descongestionamiento de dichos tramos.

La integración tarifaria de los diferentes modos modal de transporte público ha sido beneficiosa y positiva para los sistemas de metro en donde esto se ha implementado, ya que ha facilitado e incentivado el uso del mismo. En casos concretos como SCL, São Paulo y Madrid, la integración tarifaria ha supuesto un aumento adicional y sostenido de los pasajeros movilizados por el metro, toda vez que los viajes en metro pueden ser ahora complementados en otro modo de transporte sin tener un costo adicional para el usuario.

En cuanto a la tarifa, vale la pena resaltar los costos de viaje que el usuario en la ciudad de Santiago de Chile debe asumir cuando utiliza el sistema de metro. En este caso particular, la tarifa, cuyo valor se

ubica entre los US\$0.67 y US\$ 0.81, cubre los costos operacionales en que incurre la empresa, dejando libre adicionalmente, algunos recursos para financiar la operación del sistema Transantiago, y parte de la financiación de los proyectos futuros.

3.2.2 Debilidades

A pesar que algunos indicadores muestran una gran eficiencia para los sistemas de metro latinoamericanos, esto a la vez se constituye en un indicio de sobrecarga de los equipos y de la infraestructura misma. Así, en casos como Santiago de Chile, varias estaciones del metro colapsan operacionalmente a diario, debido a la altísima demanda que se tiene, la cual no estaba proyectada para ocurrir en este periodo. De igual manera, los pasajeros se ven obligados a dejar pasar varios trenes, los cuales van a su capacidad máxima.

En los casos en donde no se tienen trenes de reserva, la operación diaria del metro no tiene un rango de acción en el momento en que se tenga una situación no programada con el material rodante que implique su inmovilidad temporal, ya que en general, la totalidad el material rodante que se tiene está en operación en las horas punta.

En el caso concreto de Ciudad de México, vale la pena resaltar la pérdida de demanda que durante varios años sufrió el metro, a causa de circunstancias previsibles que no fueron tratadas de manera integral. La falta de integración tarifaria en esta ciudad, en donde funcionan autobuses convencionales, BRTs, trolebuses y tranvías, ha generado una competencia innecesaria entre los modos por la captación de pasaje.

Un caso extremo en cuanto a la tarifa que se cobra a los usuarios por el uso del sistema metro, es el caso de Ciudad de México, donde los subsidios a la tarifa históricamente han representado un porcentaje alto de la tarifa técnica. Esto ha generado problemas a los directivos de la empresa, ya que al incrementarse el precio del transporte en este modo, la demanda ha decrecido considerablemente, toda vez que la elasticidad precio de la demanda tiene una mayor pendiente, es decir, el aumento unitario en el precio del viaje en metro resulta en una disminución unitaria mayor de la demanda.

La velocidad comercial de los trenes viene condicionada fuertemente por la interdistancia entre paradas; un valor elevado en la interdistancia permite una mayor velocidad, aunque reduce la cobertura del sistema debido al menor número de puntos de acceso. Por otro lado, una interdistancia reducida aumenta la cobertura del sistema implicando, a su vez, una disminución de la velocidad comercial entre origen y destino de los desplazamientos. En tal sentido, se debe encontrar un balance entre la velocidad deseada, y el número de accesos al sistema, esto último basado en el análisis de las zonas de mayor generación y atracción de viajes.

Finalmente, cabe resaltar que las líneas realizadas en sucesivas expansiones de las redes de metro tienden a atraer a un menor número de usuarios, debido a que los corredores que sirven acostumbran a ser menos densamente poblados. Los corredores más congestionados o con mayor demanda de movilidad son servidos por lo general por las primeras líneas ejecutadas. Este hecho puede implicar la inviabilidad económica de implantación de un sistema metro, si bien otras alternativas como el Tramway sistemas BRT pueden ser soluciones alternativas más eficientes.

4 EJE 3: ANÁLISIS INSTITUCIONAL Y ORGANIZACIONAL

El capítulo actual presenta los diferentes aspectos institucionales desde la perspectiva legal y laboral que a lo largo del desarrollo del producto 12 se han evaluado para las 6 ciudades escogidas, realizándose una valoración comparada de los mismos e identificándose sus fortalezas y debilidades entre las diferentes experiencias metro seleccionadas.

4.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al esquema institucional y organizacional del sistema

A continuación se presentan para su análisis comparado diferentes aspectos y variables característicos de cómo están organizados los diferentes sistemas metro estudiados, en lo referente a la organización institucional de éstos así como a la organización del ente explotador en aspectos laborales.

4.1.1 Aspectos legales

El presente numeral expone las características esenciales de cada uno de los modelos institucionales analizados, identificando las principales entidades y la forma jurídica que revisten:

ACTIVIDAD	MADRID	SANTIAGO DE CHILE	SAO PAULO	MÉXICO D.F.	PARÍS	LONDRES
Titular del sistema metro (administrador de la infraestructura)	MINTRA Entidad de Derecho Público	Metro S.A. Sociedad mercantil pública	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) Sociedad mercantil pública	Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal Administración Pública	Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP) Establecimiento Público de carácter industrial o comercial	Transport for London (TfL) Entidad de Derecho Público con una participación destacable en la modernización de la red por parte de su operadora London Underground Limited (LUL) Sociedad mercantil pública

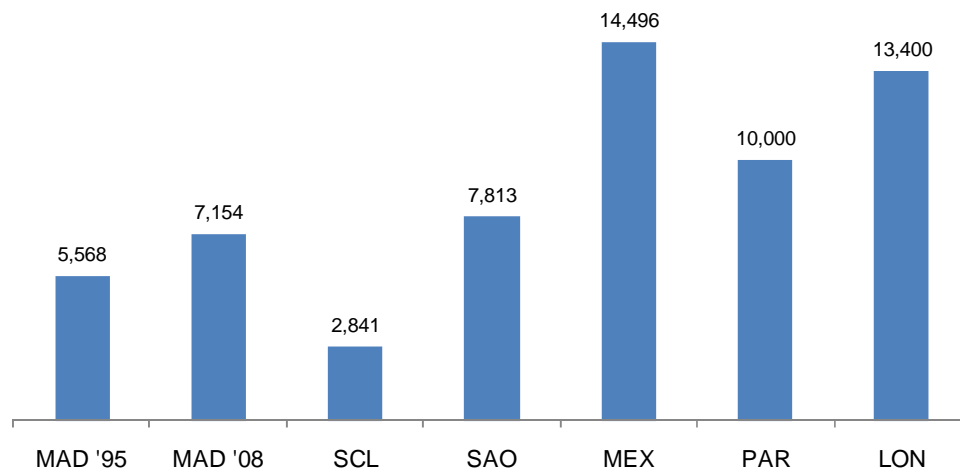
ACTIVIDAD	MADRID	SANTIAGO DE CHILE	SAO PAULO	MÉXICO D.F.	PARÍS	LONDRES
Construcción	MINTRA Entidad de Derecho Público	Metro S.A. Sociedad mercantil pública	CPTM Sociedad mercantil pública	Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal Administración Pública	RATP Establecimiento Público de carácter industrial y comercial.	TfL Entidad de Derecho Público
Mantenimiento ordinario	Metro de Madrid, S.A. Sociedad mercantil pública	Metro S.A. Sociedad mercantil pública	CPTM Sociedad mercantil pública	Sistema de Transporte Colectivo (STC) Organismo público descentralizado	RATP Establecimiento Público de carácter industrial o comercial	LUL (a través de modelo CPP) LUL Nominee BCV Ltd Y LUL Nominee SSL Ltd sociedades mercantiles públicas
Operación	Metro de Madrid, S.A. Sociedad mercantil pública	Metro, S.A. Sociedad Mercantil Pública	CPTM Sociedad Mercantil Pública	STC Organismo público descentralizado (STC)	RATP Establecimiento Público de carácter industrial o comercial	LUL sociedad mercantil pública
La operadora de METRO también opera bus	NO	NO	NO	NO	Sí, líneas urbanas de autobuses.	NO
Existe un Ente de Derecho Público que integra los distintos modos como autoridad del transporte	Sí Consortio Regional de Transportes de Madrid (CRTM)	NO	NO	NO	Sí Syndicat des Transports d'Île de France (STIF)	Sí TfL

4.1.2 Aspectos laborales

En este apartado se comparan distintos aspectos cuantitativos relacionados con los aspectos laborales de cada una de las 6 experiencias evaluadas.

El primer valor comparado es la dotación total con la que cuentan los sistemas metro para afrontar las actividades de operación, mantenimiento y tareas administrativas. El sistema que posee la plantilla más numerosa es la de París, con una cantidad de trabajadores que asciende aproximadamente a los 10,000³, seguida por México D.F. y Londres, con 14,496 y 13,400 respectivamente, mientras que la red chilena cuenta con tan sólo 2,841 trabajadores. Cabe destacar que la antigüedad media de la plantilla del sistema metro de la ciudad de Madrid 2008 es de 18 años y en São Paulo se sitúa cercana a los 17 años.

Figura 4-1. Cantidad de trabajadores para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia

En lo referente a la distribución de las dotaciones se puede observar que la red londinense es la que destina más empleados a tareas de operación y mantenimiento con un 91.5% del total, mientras que en París la cifra se sitúa en el 74.9% de la dotación.

De la cantidad de empleados se desprende el indicador que relaciona el personal por kilómetro de red, el cual sirve para medir la optimización los recursos. La red de São Paulo tiene un ratio de 127.5 empleados por cada kilómetro de red, en contraste con los 25.3 trabajadores por kilómetro de la red madrileña. El sistema de México D.F. es el segundo en personal por kilómetro con 72.

Tabla 4-1. Personal necesario por kilómetro de red en las distintas experiencias metro analizadas

Unidades	Madrid '95	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres	
Personal / km de red	#/km	46.05	25.25	33.38	127.46	71.98	48.05	28.12

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

³ Se estima en 10,000 el número de trabajadores del sistema metro; la totalidad de la plantilla del ente operador del transporte público operado en la ciudad (RATP) se sitúa en los 45,861

En el marco laboral, el indicador que se presenta a continuación relaciona los coches-km (productividad) por empleado; en este aspecto el sistema de Santiago tiene el ratio más alto, 37,064 coches-kilómetro por empleado. En cambio, São Paulo es el sistema con un valor menor en cuanto a este indicador con 12,748 coches-kilómetro por empleado.

Tabla 4-2. Cantidad de coches-kilómetro por empleado en las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid '95	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Coches-km / Personal	(c-km)/#	16,790.23	28,291.86	37,064.41	12,747.98	24,274.28	25,621.53	34,014.93

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

También se comparan los valores de cantidad de pasajeros al año por trabajador existente en los diferentes sistemas; en relación a dicho indicador, vuelve a tener un mayor desempeño la red de Santiago de Chile, en la cual se registra un valor de 225,871 pasajeros anuales por empleado, mientras que la red de metro Madrid'95 con 71,336 es la de menor ratio pasajeros anuales por trabajador.

Tabla 4-3. Pasajeros anuales por cada trabajador de las distintas experiencias metro analizadas

	Unidades	Madrid '95	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Pasajeros-año / Personal	Pax/#	71,336.21	96,128.04	225,871.17	87,589.91	101,221.03	138,830.00	81,268.66

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Con respecto a las políticas de formación realizadas por las empresas para la operación de los sistemas de metro estudiados, se han obtenido las horas totales destinadas a capacitar a los empleados. La red que destina una mayor cantidad de horas a capacitar a sus hombres es la parisina, con un total de 553,882 horas-empleado, haciendo un total de aproximadamente 55.4 horas por trabajador. La red santiaguina es la de mayor ratio de horas por empleado con 105.8 horas (300,578 horas en total). En el otro extremo la red de ciudad de México ha destinado recursos para capacitar a su dotación equivalentes a 14.8 horas por trabajador, lo que significa un total de 214,541 horas.

4.2 Fortalezas y debilidades asociadas al esquema institucional y organizacional de los sistemas metro analizados

El presente apartado muestra las diferentes debilidades y fortalezas identificadas del análisis de cada uno de los sistemas metro analizados en términos de estructura institucional y organizacional.

4.2.1 Fortalezas

En cuanto a los aspectos legales, cabe destacar las siguientes fortalezas de los sistemas de metro estudiados:

- La existencia de una entidad con personalidad jurídica que gestione todos los modos de transporte en el ámbito territorial de referencia para el sistema de metro y en la que participen todas las Administraciones Públicas competentes, permite optimizar la coordinación de todos los agentes implicados en la ordenación del transporte público y en su financiación

- La financiación por parte de la Administración Pública, con frecuencia estatal, es clave para la construcción de una red de metro, ello con independencia de que quien contrate su ejecución sea la propia Administración, la operadora pública de la red o un ente público creado al efecto
- La existencia de un único operador suele facilitar la operación y mantenimiento cuando se trata de una red de metro y su carácter público permite articular la subvención directa en los casos en los que esta actividad es deficitaria como suele ocurrir en este sistema de transporte

En cuanto a los aspectos laborales, cabe resaltar las siguientes fortalezas de los sistemas de metro estudiados:

- Las plantillas existentes en los diferentes sistemas de metro analizados tienen una amplia experiencia en el sector con una media de permanencia en la empresa elevada
- Asimismo, el grado de formación de los empleados en las redes de metro estudiadas es alto debido al elevado número de horas de formación impartidas a los trabajadores de la empresa
- Finalmente, en el sistema metro el ratio de pasajeros transportados por empleado del operador es elevado lo que comporta una ventaja comparativa con otros modos de transporte que se pudieran implementar

4.2.2 Debilidades

En cuanto a los aspectos legales, cabe destacar las siguientes debilidades de los sistemas de metro estudiados:

- La ausencia de una entidad con personalidad jurídica en la que participen todas las Administraciones competentes para la planificación y gestión del transporte público en el ámbito territorial de referencia para el sistema de metro, dificulta la integración de los distintos modos de transporte (i.e. autobuses urbanos e interurbanos, tren de cercanías, etc.)
- La falta de coordinación en la planificación y en la programación de los distintos modos de transporte impacta negativamente en la óptima prestación del servicio público de transporte a través del sistema de metro
- La participación del sector privado en la construcción, operación y financiación del sistema bajo modelos de colaboración público-privada ha sido muy residual hasta el momento

En cuanto a los aspectos laborales, cabe resaltar las siguientes debilidades de los sistemas de metro estudiados:

- La debilidad principal se identifica en la necesidad de formar al personal de forma específica debido a los requerimientos especiales de algunos puestos ofertados tales como operador de vías o conductor

5 EJE 4: ANÁLISIS NORMATIVO Y CONTRACTUAL

En el presente capítulo se presenta el análisis comparado de las 6 experiencias metro estudiadas, así como las fortalezas y debilidades que se han podido identificar a lo largo del detallado proceso de evaluación normativa y estructura contractual de los sistemas.

5.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al análisis normativo y contractual del ente operador

A continuación se exponen las características normativas y contractuales de cada uno de los sistemas de metro analizados que se consideran estratégicas:

ASPECTOS LEGALES	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Existen limitaciones legales a la operación por el sector público	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Existen limitaciones legales a que la tarifa de usuario no cubra los costes del sistema	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Existen criterios legales para la fijación de la tarifa de usuario	SÍ Debe aprobarse un marco tarifario común para los sistemas de transporte en el que se definan los ingresos tarifarios que se perciban por parte de los usuarios. Debe establecerse un régimen especial de compensación económica a las empresas que tengan asignada una tarifa a cargo del usuario inferior a la de equilibrio.	SÍ Los criterios están asociados a la tarifa técnica que percibe el operador y ésta, a su vez, depende fundamentalmente del número de pasajeros.	NO	SÍ Tipo de servicio, salario mínimo, precio unitario de la energía, precio de gobierno de los vehículos, índice nacional de precios al consumidor y, en general, todos los costes directos o indirectos que incidan en la prestación del servicio. Debe tomarse como referencia los estudios técnicos previstos por ley.	NO	NO

ASPECTOS LEGALES		Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
El cobro de la plusvalía generada por la ejecución del sistema de metro está regulado (i.e. en la normativa, contractualmente, etc.)		NO	NO	N/A	N/A	N/A	-
Utilización de modelos de colaboración público-privada (CPP)		Sí, para tranvías y tren de cercanías	NO	Sí, para la ampliación de una línea	NO	NO	Sí, para la reforma, modernización y mantenimiento de la red
Contratación ordinaria con terceros	Redacción de proyectos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí También se realiza a través de una filial	Sí
	Construcción	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Mantenimiento de infraestructuras y del material móvil	NO Lo realiza la operadora	NO Lo realiza la operadora	NO Lo realiza la operadora	NO Lo realiza la operadora	NO Lo realiza la operadora	NO Parte a través de sociedades públicas y parte mediante un contrato de CPP
	Adquisición del material móvil	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
	Operación	NO Operadora pública (excepto tranvías)	NO Operadora pública	NO Operadora pública	NO Operadora pública	NO Operadora pública	NO Operadora pública

5.2 Fortalezas y debilidades asociadas a los aspectos normativos y contractuales de los sistemas metro analizados

A continuación se realiza la identificación de fortalezas y debilidades asociadas a los sistemas de metro estudiados en lo referido a los aspectos normativos y contractuales.

Fortalezas

Cabe destacar las siguientes fortalezas de los sistemas de metro estudiados:

- La ausencia de limitaciones legales a que exista un operador público ha permitido la operación integrada y eficiente de la red de metro por parte de éste
- La ausencia de limitaciones legales a que la tarifa de usuario esté subvencionada ha permitido optimizar la prestación del servicio público y, por tanto, fomentar el uso de este medio de transporte
- La flexibilidad normativa en la fijación de las tarifas de usuario permite al sector público ajustarlas en cada momento a los cambios en la realidad económica y social y en las necesidades del propio sistema de metro

Debilidades

Cabe destacar las siguientes debilidades de los sistemas de metro estudiados:

- La ausencia de limitaciones legales a que la tarifa de usuario esté subvencionada puede desincentivar la máxima racionalización de las inversiones y la búsqueda de mecanismos adicionales de financiación del sistema de metro
- La regulación del cobro de plusvalías generadas por el sistema de metro y su empleo es residual por lo que, con carácter general, no ha tenido un impacto significativo en la financiación del sistema
- El empleo de modelos de CPP es residual, lo que priva al sector público de la capacidad técnica y financiera que podría aportar el sector privado

6 EJE 5: ANÁLISIS DEL IMPACTO URBANÍSTICO

El presente capítulo evalúa las implicaciones urbanísticas acontecidas a raíz del desarrollo de los diferentes sistemas metro internacionales analizados a lo largo del producto 12, tales como afectaciones a zonas urbanas, promoción de desarrollos urbanos, revalorización de espacios, entre otros.

De igual manera se describen las fortalezas y debilidades identificadas, que permitan identificar aquellos aspectos positivos y negativos que puedan servir como conocimiento para prever las implicaciones urbanísticas que pueda tener una determinada actuación en la ciudad de Bogotá.

6.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al impacto urbanístico

La incidencia de los sistemas de metro en el entorno urbano por el cual discurren tiene especial importancia, especialmente en aquellas estructuras empleadas para el desarrollo de la red que conlleven una mayor interacción con el tejido urbano ya consolidado. En este sentido, el análisis de soluciones implementadas en otras experiencias en relación al impacto del metro sobre el entorno urbano así como la adaptación de éste a la inserción de estaciones o estructuras en superficie o elevadas, cobra especial relevancia el proyectarse una red de metro para la ciudad de Bogotá.

A tal efecto, en el presente numeral se desarrolla un análisis de diferentes impactos, acciones y soluciones llevadas a cabo asociadas al impacto ambiental, consideradas como relevantes a lo largo del estudio de cada una de las experiencias seleccionadas.

6.1.1 Características urbanas

El contexto urbano en el que se han desarrollado los diferentes proyectos de metro estudiados, difiere considerablemente entre sí. Mientras que las redes europeas estudiadas (Madrid, París y Londres) empezaron su desarrollo hace más de 90 años, época en donde las ciudades urbanísticamente concentraban sus actividades diarias en un área reducida, las redes latinoamericanas (Santiago, São Paulo y México D.F.) comenzaron sus operaciones avanzada la segunda parte del siglo XX, cuando su estructura urbana céntrica estaba consolidada, y existía una importante tendencia a poblar las zonas periféricas de la ciudad, donde generalmente el valor del suelo es más reducido.

Aunque la densidad poblacional es un dato relativo, de gran discusión por la academia y los especialistas, en el contexto de las ciudades bajo estudio en el presente informe se observa por un lado, un efecto de conurbación avanzado en el caso de Madrid, en donde se pasó de tener 25,897 hab/km² en 1995, a 8,460 hab/km² en 2008, lo cual es un claro indicador de la expansión horizontal que ha sufrido la ciudad, tendiendo a valores similares a los de París y Londres, donde los efectos de la conurbación han resultado en densidades poblacionales por debajo de los 5,200 hab/km². Aunque para el resto de casos no se tienen valores históricos al respecto, de la literatura consultada se evidencia que la tendencia durante las últimas décadas ha sido el de expandirse fuera de sus respectivos límites, anexando físicamente otros municipios de la geografía. Entre las ciudades estudiadas, Londres resulta ser la ciudad con la menor densidad, con 4,356 hab/km², de acuerdo a los cálculos y estimaciones realizadas por el Grupo Consultor a partir de estadísticas poblacionales y superficies o manchas urbanas consideradas en cada ciudad.

Los casos latinoamericanos estudiados presentan densidades entre 7,000 y 9,000 hab/km², siendo Santiago de Chile la ciudad más densamente poblada, y São Paulo la menos densa. Las dos regiones urbanas asociadas al sistema metro con mayor número de habitantes en el contexto netamente urbano

son: Ciudad de México con 17.84 millones de residentes y São Paulo con 15.00 millones, seguidas por Londres (11.69 millones) y París (7.17 millones).

Al comparar estos indicadores con los datos actuales de Bogotá se evidencia que ésta, a pesar de tener una población de 7.12 millones de habitantes en su casco urbano, similar al de París, su concentración es cerca de 5 veces mayor, con lo cual su densidad poblacional llega aproximadamente a 21,250 hab/km². Lo anterior se constituye en una ventaja para los sistemas de transporte público, ya que éstos se favorecen, en términos de demanda, en aquellos contextos urbanos de mayor densidad poblacional.

Tabla 6-1. Población y densidad poblacional en la mancha urbana de las ciudades estudiadas

	Unidades	Madrid 1995	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres	Bogotá
Población	Mill. Hab	3.03	4.34	5.79	15.00	17.84	11.69	7.17	7.12
Mancha Urbana	km ²	117	513	645	2,113	2,328	2,265	1,646	335
Densidad población	Hab/km ²	25,897	8,460	8,977	7,099	7,663	5,161	4,356	21,254

Fuente: Elaboración propia

En contextos de baja densidad, es decir, en lugares donde hay un efecto de conurbación importante, la movilidad se ve afectada por los siguientes aspectos:

- La expansión de las redes de metro de una ciudad son más rígidas y lentas que la expansión de de la propia urbe hacia los límites de la ciudad, por lo que la población sin cobertura de servicio de metro es cada vez mayor. Éste ha sido el caso de los metros estudiados, en donde la cobertura del sistema metro no llegan a zonas de demanda periférica, generalmente por factores asociados a los costos de llevar dicha infraestructura a sitios alejados frente a la demanda potencial susceptible de ser servida
- La conurbación de las ciudades implica el desarrollo de complejos residenciales de baja densidad, lo cual, además de lo descrito en el punto anterior, hace económicamente menos atractiva la implantación de una nueva línea de metro, debido a que la demanda tiende a ser más baja
- Como consecuencia de los puntos anteriores, y debido a las mayores distancias que deben recorrer los habitantes, el uso de automóvil privado se hace más frecuente, llevando consigo consecuencias tales como mayor contaminación, mayor consumo energético, mayor tráfico, mayores costos y mayor tiempo en los desplazamientos

6.1.2 Actuaciones sobre las redes de metro

Durante los últimos 10-15 años, las actuaciones sobre las redes de metro de las ciudades estudiadas han estado enfocadas mayormente a la expansión de los sistemas hacia áreas periféricas alejadas de los núcleos centrales de las ciudades, dando respuesta a las necesidades de transporte que se han generado paulatinamente en las periferias de la ciudad.

En su conjunto, durante este periodo de tiempo las 6 ciudades bajo estudio realizaron ampliaciones de su red por un total de 268.62 km, de los cuales el 81% (218.69 km) correspondieron a actuaciones con vocación expansionista, y el restante 19% (49.93 km), a actuaciones con vocación de densificación de la red. Las actuaciones de expansión de red correspondieron a ampliaciones sobre la red de metro ya existente, cuyo objetivo principal es llegar a espacios urbanos con suficiente entidad no servidos por el servicio metro y comunicarlos con el centro de las ciudades. Por el contrario, las actuaciones con

vocación de densificación son aquellas en donde se extiende la red de metro a áreas ya servidas, bien sea para aliviar la carga de una línea existente, y/o para servir a zonas con una alta demanda, que no logra ser atendida por otro servicio metro o complementario.

Bajo esta perspectiva, la red de metro de Madrid destaca por haber efectuado un proceso de ampliación importante, al adicionar 148.1 km de infraestructura a su sistema entre los años 1995 y 2007. De estos 148.1 km, el 93% (137.94 km) correspondieron a actuaciones con una vocación claramente expansionista, y el restante 7% (10.16 km) corresponden a actuaciones de densificación de la corona céntrica de la ciudad. Igualmente destacables son las actuaciones sobre la red de metro de Santiago de Chile. Entre los años 2000 y 2008, la red se extendió en 47.6 km, de los cuales el 88% correspondieron a actuaciones de expansión, principalmente en la zona sur y sureste de la ciudad, siendo el restante 12% (5.7 km) actuaciones de densificación de la estructura existente.

Por el contrario, destaca por su escasa expansión, la red de metro de Ciudad de México, la cual desde el año 1998 no realizó ninguna intervención. Debido a diferentes factores, tales como falta de planeación, malos manejos financieros, entre otros, las necesarias ampliaciones a la red de metro no se han llevado a cabo, generando gran inconformismo entre los ciudadanos de la región no servidos por el sistema metro, que cada día deben gastar más tiempo en sus desplazamientos diarios.

Tabla 6-2. Longitud de las actuaciones sobre las redes de metro en los últimos 10-15 años

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Total Actuaciones	km	148.10	47.60	12.80	23.70	18.92	17.50
Expansión	km	137.94	41.90	8.40	18.83	9.92	1.70
Densificación	km	10.16	5.70	4.40	4.87	9.00	15.80

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Contrariamente a los casos anteriormente citados, las ciudades de París y Londres, las cuales cuentan desde hace varias décadas con una red de metro consolidada y son los dos sistemas con más antigüedad existentes, han optado en sus recientes actuaciones por densificar la red que operan, en lugar de expandirlas hacia áreas periféricas.

Hay diferentes razones por las cuales estas dos ciudades han sufrido una evolución diferenciada. En primer lugar, son redes ya consolidadas que atienden al centro de la ciudad y la zona de influencia del mismo, donde se concentra la mayor demanda de pasajeros, y por lo tanto, lugar más atractivo y rentable para la implementación de un sistema pesado de metro. A modo de ejemplo, en el caso de París, mientras que su centro tiene una densidad poblacional de 20,775 hab/km², el anillo interno tiene una densidad poblacional aproximada de 6,580 hab/km², y las zonas urbanas más externas tienen una densidad de 447 hab/km².

De igual manera, resulta importante resaltar el hecho que las intervenciones sobre la red del metro de París y Londres han sido relativamente bajas, en comparación con las otras redes.

Otra de las razones que han influido en que estas ciudades no hayan realizado expansiones de sus redes más agresivas hacia las periferias es que, en las áreas periféricas operan sistemas de trenes de cercanías con una configuración amplia, que cubren una parte importante de la demanda, y que además están interconectados, por lo general, con la red de metro. De esta manera, los usuarios provenientes de

las periferias de la ciudad acceden a la misma a través de estos trenes de cercanías o haciendo la debida conexión con el sistema de metro.

Cabe destacar que las iniciativas dirigidas a cubrir zonas de la ciudad y periferia menos densamente pobladas han optado por el empleo de sistemas de transporte público ligero, como puede ser el Tramway o el propio metro, empleándose frecuencias diferenciadas (más bajas) en los tramos extremos.

Como es usual en lo relativo a infraestructura de transporte las limitaciones de recursos pueden ser, incluso para casos de ciudades altamente desarrolladas, un factor predominante que actúa en contra de los intereses de las empresas operadoras. Como se ha comentado anteriormente, al haber menos demanda en las zonas periféricas de las ciudades, se traduce en menos ingresos por explotación de los servicios y por lo tanto, mayor insostenibilidad del sistema para las administraciones correspondientes. Adicionalmente, es de destacar que los costos de la infraestructura acostumbran a ser más elevados, dado que los recorridos requeridos para dar servicio a las zonas periféricas suponen el desarrollo de proyectos de infraestructura considerablemente costosos dada la longitud de los tramos a ser ejecutados.

6.1.3 Desarrollo urbano asociado al sistema metro

Al igual que con otros sistemas masivos de transporte público, como pueden ser BRTs, tranvías, o sistemas férreos ligeros, el desarrollo de redes de metro en las ciudades estudiadas ha traído consigo importantes desarrollos urbanos. A pesar de ser una variable de difícil evaluación, requiriéndose de estudios a gran escala y especialidad para evaluar el impacto de las líneas de metro en los entornos urbanos, los cuales no son de fácil consecución, de la información recabada a lo largo del presente estudio el Grupo Consultor ha podido constatar casos particulares en la mayoría de las ciudades, los cuales revelan la importancia y la relación directa entre el desarrollo de un sistema metro y los desarrollos urbanos o microurbanos.

En términos generales, en todos los casos existe un desarrollo urbano asociado a la puesta en funcionamiento del metro, en algunas ciudades con mayor intensidad que en otras, e igualmente en algunas líneas con mayor impacto que en otras, dentro de la misma ciudad. Como regla general, la implementación del sistema de metro ha respondido en todo momento a la necesidad de conectar los centros de actividades principales (centros de la ciudad) con aquellas áreas de mayor población en donde predomina un uso del suelo residencial, generalmente localizado fuera del centro de la ciudad, o subcentros urbanos que congregan una serie de servicios y actividades de gran dinámica.

Casos recientes como Santiago de Chile, han evidenciado un resurgimiento del centro de la ciudad gracias a la puesta en servicio del metro. En este caso específico, el centro perdió fuerza en el marco urbano de la ciudad durante un periodo extenso de tiempo, debido a las dificultades para su accesibilidad. Sin embargo, gracias a la puesta en servicio de las líneas de metro que circulan hoy en día a través y alrededor del centro, esta zona de la ciudad ha recobrado paulatinamente el valor y la fuerza social y económica que tuvo anteriormente. Hoy en día es una zona atractiva para el comercio, turismo, cultura, e incluso ha recobrado su status como zona residencial.

Asimismo, debido a la dinámica urbana con que se desarrollan las ciudades, los trazados de los sistemas de metro también se ven afectados, evolucionando de acuerdo a las nuevas necesidades urbanas que van surgiendo. En este sentido, siguiendo con el caso chileno, el cual ha sido documentado con amplitud, durante los años 80, luego de detectarse un cambio en la estructura urbana de la ciudad en el este de la misma, las autoridades encargadas de la planeación del sistema metro decidieron modificar el trazado, y la prioridad en la ejecución de las líneas. Es así, como hoy en día no se ha ejecutado la línea L3, habiéndose realizado otras líneas que tenían anteriormente una prioridad menor respecto a ésta.

Igualmente, se modificó el trazado de la red de tal manera el sistema cubriera los nuevos requerimientos de demanda al este y sureste de la ciudad.

En el caso de Madrid, el sistema metro se ha involucrado directamente en la iniciativa de promover el uso de medios no motorizados en ciertas zonas de la ciudad donde se han generado rutas de ocio y esparcimiento. En total, son 5 rutas no motorizadas cuyo trazado recorre parajes paisajísticos y enclaves singulares en la zona suroeste de la ciudad, las cuales tienen conexión directa con 4 estaciones del metro de la línea L12. Esta línea L12, ha sido un claro ejemplo de la integración entre el transporte y el urbanismo.

Para el caso mexicano, cabe destacar la intervención en el espacio urbano correspondiente a la plaza de los Insurgentes. En este punto confluyen 4 importantes vías de la ciudad, y además de mejorar el tráfico de vehículos privados, la actuación ha dado solución a la incorporación de una estación de metro en el entorno, mediante la creación de una plaza pública con diámetro cercano a los 100 m. La inserción de la plaza de Insurgentes en el contexto urbano significó la renovación de un nuevo espacio público antes deteriorado, así como la generación de nuevos puntos de comercio y negocios alrededor de la misma.

A su vez, cabe destacar la nueva línea L12 del metro de Ciudad de México que con una vocación netamente expansionista, supone la incorporación al casco urbano del D.F. de una zona periférica con vocación rural hasta el momento. Esto ha conllevado grandes cuestionamientos hacia la administración pública, por cuanto se ha incentivado la creación de una centralidad en una zona medianamente rural, en vez de reforzar y soportar otras zonas del casco urbano de la ciudad en donde hay un potencial grande de densificación urbana.

En el caso del metro de París, se han podido consultar estudios llevados a cabo recientemente, cuyo enfoque no sólo apunta a dar una solución puntual de transporte a las comunidades objeto de estudio, sino a estructurar una política urbana más amplia, en donde se identifican unas zonas periféricas de la ciudad que deben ser densificadas a través de la consolidación de éstas como polos de desarrollo urbano. La reactivación de estas zonas como polos urbanos de desarrollo supone la transformación del entorno de las estaciones existentes y proyectadas, para de esta manera abrir nuevos focos de comercio y oportunidades de trabajo. Al crearse estas actividades, se crean necesidades de movilidad para los habitantes que llegan y salen de estas zonas, por lo que el desarrollo urbano incluye la implementación de un ambicioso programa de expansión de trenes de cercanía, metro y tranvías hacia estos ámbitos.

En concreto, las actividades de densificación y consolidación urbana se llevarán a cabo en zonas como Rueil Malmaison y Hauts de Montreuil, que no cuentan con servicio de metro, así como Plaine-Saint-Denis, Gennevilliers y Val de Fontenay, con una clara vocación empresarial. Estas zonas se concentran en general en el primer anillo exterior de París más conocido como Petite Couronne.

Referente al metro de Londres, la extensión de la línea Jubilee conllevó a continuación de su puesta en servicio, un extenso estudio urbanístico que contempló una serie de variables orientadas a identificar los beneficios que esta obra generó en la ciudad. En este sentido, se estudiaron variables como:

- Accesibilidad al transporte público
- Atractivo como zona residencial
- Atractivo como zona comercial
- Accesibilidad a zonas de estudio

- Delincuencia
- Zonas de estacionamiento
- Valor de la propiedad inmobiliaria

Los resultados obtenidos tras el análisis de dichas variables concluyeron en una serie de beneficios sociales y económicos para la zona de implantación, que han logrado darle un impulso económico y social importante. La accesibilidad al transporte público mejoró notoriamente gracias a la localización de nuevos puntos de acceso al sistema metro, lo cual influye directamente en la decisión de los habitantes de considerar esta zona como atractiva para vivir y/o trabajar. Igualmente, gracias a la cercanía del trazado con el río Támesis, y por lo tanto por su atractivo paisajístico, se evidenció un notable incremento en el valor de los predios residenciales, tal y como se presenta más adelante.

6.1.4 Microurbanismo

Casos documentados correspondientes a las ciudades de Madrid, Santiago de Chile, Ciudad de México, París y Londres, dan cuenta de procesos de microurbanismo relacionado directamente con la infraestructura metro. En estos casos, algunas estaciones del sistema de las citadas ciudades han llevado a cabo obras externas para adecuar su infraestructura al entorno urbano local, resultando en una mejor inserción urbana, mejorándose la interacción de la comunidad hacia el espacio ocupado por la estación. Igualmente, como ya se ha mencionado anteriormente, el desarrollo urbano alrededor de las estaciones puede ser relevante, dependiendo esto directamente de la zona y entorno en donde se halle la estación.

Casos específicos como la estación Escuela Militar en la red de Santiago de Chile, en donde se generó un subcentro en las afueras de la estación, con espacios comerciales, y de ocio, son indicativos de la posibilidad de generar espacios públicos y/o privados de valor agregado en el entorno inmediato de las estaciones.

Asimismo, el proyecto de renovación de la estación Châtelet-Les Halles en París, supone no solo la intervención en la estación misma, mejorando su accesibilidad para PMRs, y dotándola de dispositivos contra incendios, entre otros, sino que además supone un completo plan de renovación urbana de la plaza Marguerite de Navarre, en donde se pretende localizar un nuevo acceso a la estación de metro. Ello supone la generación de un espacio público más respetuoso con el entorno urbano.

Contrario al éxito de la gran mayoría de las estaciones en lo referente a la activación comercial y de desarrollo urbano que éstas generan, también hay casos en donde las estaciones no han generado ningún interés en el desarrollo de su entorno. Este ha sido el caso de algunas estaciones del metro de Madrid, en donde, a pesar de llevar varios años en funcionamiento, a la fecha no se ha realizado ninguna actuación urbanística que haya beneficiado a la zona. Otro caso parecido se vivió en Santiago de Chile con la implantación de la línea L2. Luego de su implementación, no se evidenció ningún desarrollo urbano importante en las inmediaciones de las estaciones.

Dichos efectos pueden tener varias razones de ser, como el contexto en el que está inmersa la estación, la dinámica urbana del momento, problemas sociales, entre otros. Aunque los anteriores factores tienen una incidencia directa en la falta de actividad urbana alrededor de las estaciones, probablemente en gran medida también se debe a fallas en el análisis del contexto urbano durante la etapa de planeación, por cuanto una equivocada interpretación de la dinámica local puede conllevar a un plan de implantación erróneo, generando las consecuencias mencionadas.

6.1.5 Plusvalías y Revalorización

De la mano del desarrollo de los sistemas de metro en las ciudades estudiadas, ha venido la valorización adicional de los predios adyacentes al trazado de las líneas. Los estudios consultados a lo largo del desarrollo del presente producto dan cuenta de una valorización total de hasta el 8%. Este valor tiene en cuenta la valorización surgida inmediatamente después del anuncio oficial del trazado de la línea, más la valorización que se da una vez empiezan los trabajos de construcción.

Para el caso específico de Santiago de Chile, los estudios realizados consideran un incremento total entre 4.6% y 8.4%. La valorización final observada depende, según los resultados obtenidos, de la distancia a la que se encuentre el predio de la línea de metro. Mientras que para un predio ubicado a menos de 200 m de la línea del metro la valorización alcanza el valor de 8.4%, los predios ubicados a una distancia de entre 800 m y 1,000 m la valorización disminuye a 4.6%.

Con este aumento en el valor del predio, se calcula que, para el caso de Santiago de Chile, la recaudación de impuestos catastrales o plusvalías, ocasionada por revalorización catastral aumentaría entre 8.0% y 10.5%, si no se toma en consideración la distancia a la estación de metro, y entre 6% y 7% si se considera que a mayor distancia del metro el aumento en el valor del predio sería menor.

En el caso de Londres, la valorización se discrimina en predios para uso residencial, comercial y de oficinas en dos de las estaciones de la ampliación (Southwark y Canary Wharf). Al igual que en el caso chileno, esta valorización está asociada a la distancia entre el predio en análisis y el trazado del metro, en este caso específico, a las estaciones mencionadas. En este sentido, para el caso residencial se concluyó que la valorización de los predios llegó hasta un 5.41% del valor inicial luego de la puesta en funcionamiento del sistema, mientras que para los establecimientos comerciales el incremento llegó hasta 2.11%, y para los espacios utilizados para oficinas el incremento alcanzó el 3.04%.

Estos incrementos observados en Londres corresponden a los máximos observados, bien sea en la estación Southwark, como en Canary Wharf. No obstante, es importante señalar que, dada la vocación residencial en los alrededores de Southpark, los mayores incrementos residenciales se presentaron en esta estación, mientras que en Canary Wharf los incrementos fueron casi nulos, debido al carácter claramente de negocios que tiene esta zona. Por el contrario, la valorización sufrida en los predios de negocios en la estación Canary Wharf fue superior a la observada en Southpark.

Para el caso de Madrid, según estudios realizado por la Universidad Politécnica de Madrid en las comunidades en el área de influencia de la línea L12, el incremento observado se sitúa entre 7% y 8%, sobre el valor original.

Tabla 6-3. Valorización de los predios residenciales aledaños a los sistemas de metro

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Valorización predial	%	7.0-8.0	4.66-8,40	-	-	-	0.0-5.4

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de diferentes autores

6.2 Fortalezas y debilidades asociadas al desarrollo urbanístico a los sistemas metro analizados

Entre las diferentes experiencias estudiadas, desde el punto de vista urbanístico se han podido identificar buenas prácticas así como actuaciones que han derivado en impactos negativos sobre los correspondientes ámbitos de implantación del sistema. A continuación se presentan las fortalezas y debilidades identificadas en relación al desarrollo urbanístico asociado al metro.

6.2.1 Fortalezas

Los centros de las ciudades han sido los primeros beneficiados por la implantación de un sistema de metro, toda vez que las primeras líneas construidas han recorrido siempre los centros de las ciudades. De esta manera, el desarrollo urbano y la reactivación económica, social y cultural en los centros de las ciudades se ha llevado a cabo desde las primeras etapas en la implementación de las redes de metro.

Cabe destacar la planeación estratégica de ciudades tales como París, Londres y Madrid, en donde la planificación del sistema de metro y los otros modos de transporte público van acompañados de estudios urbanísticos tendientes a dar soluciones integrales a largo plazo.

Se enfatiza el caso de la ciudad de Londres debido a las evaluaciones ex-post en lo referente a los beneficios que un área determinada ha tenido a causa de la implementación de una línea de metro. Esto resulta importante, ya que puede configurarse como una herramienta técnica para obtener recursos por valorización en posteriores extensiones.

6.2.2 Debilidades

El desarrollo de los sistemas de metro en las ciudades estudiadas ha estado enfocado, en su mayoría, a resolver el tema del transporte en las zonas de influencia, sin embargo, no se ha prestado la suficiente atención al impacto urbano que tiene el metro sobre estas áreas. Como consecuencia de lo anterior, se han construido líneas en donde sólo después de muchos años, se evidencia un movimiento significativo en el desarrollo de nuevas edificaciones y/o de la valorización del suelo en dichas áreas.

El acelerado crecimiento de las ciudades hacia las zonas periféricas de la ciudad, en donde el valor de la tierra es más económico, ha desembocado en una tendencia a la baja en las densidades poblacionales de las ciudades, y en un incremento en el tiempo de desplazamiento de los usuarios desde estas zonas hasta el centro de la ciudad. Al ser zonas alejadas de la corona céntrica y subcéntrica de las ciudades, estas zonas carecen generalmente de la cobertura del sistema de metro, toda vez que su extensión y funcionamiento en zonas de baja densidad no resulta atractivo para las administraciones públicas. En este sentido, planes de densificación y reorganización del uso del suelo son necesarios para generar mayores necesidades de transporte, y por lo tanto incrementar la demanda de transporte público.

La falta de desarrollo en algunas estaciones o zonas de influencia del metro pueden estar relacionadas a la falta de planeación de las autoridades, y a la falta de incentivos para que estas zonas se vuelvan atractivas para los usuarios, comerciantes y negociantes.

7 EJE 6: ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

El capítulo actual presenta los diferentes aspectos medioambientales que a lo largo del desarrollo del producto 12 se han evaluado para las 6 ciudades escogidas. De igual manera se describen las fortalezas y debilidades, sirviendo estas de conocimiento de los impactos ambientales derivados de la implantación de un sistema metro.

7.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al impacto ambiental

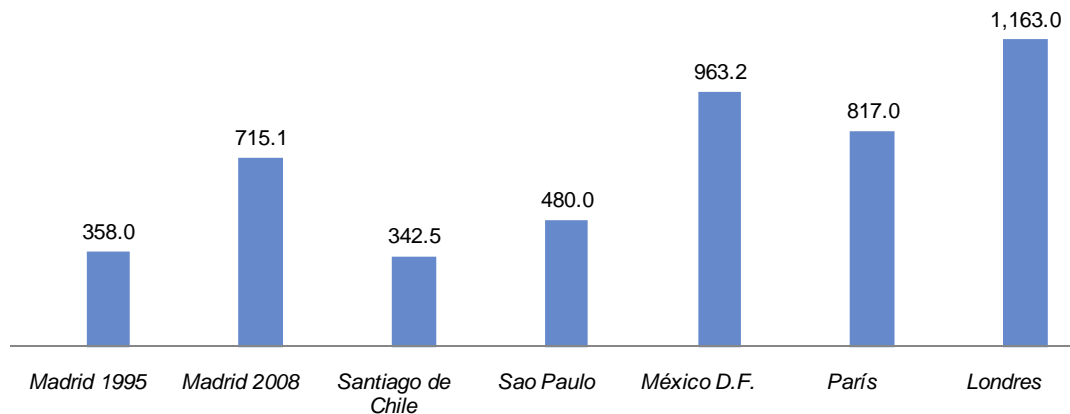
La incidencia de los sistemas de metro en el medio ambiente, cobra hoy en día gran importancia, toda vez que existe una iniciativa a nivel mundial para reducir las emisiones de gases contaminantes, producidos principalmente por los vehículos motorizados de combustión interna. En este sentido, los sistemas férreos de transporte público cobran gran importancia, ya que por un lado incentivan el uso de medios públicos para satisfacer las necesidades de movilidad de los ciudadanos, y por otro lado utilizan motores eléctricos de alta eficiencia energética.

A tal efecto, en el presente numeral se desarrolla un análisis comparativo de las diferentes variables asociadas al impacto ambiental que se han encontrado relevantes a lo largo del estudio.

7.1.1 Consumo energético

El consumo eléctrico de un sistema de metro está directamente relacionado con el tamaño de la red y su flota operacional, y en menor medida, a la eficiencia con la que se opere. En este sentido, es claro que el sistema operado en Londres, al tener la red más extensa de las ciudades en estudio, resulta obtener el consumo eléctrico más elevado (1,163 GWh). Le siguen en orden descendente de consumo, Ciudad de México, París, Madrid, São Paulo y Santiago de Chile, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 7-1. Consumo total anual de energía de los sistemas de metro analizados (GWh)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Al relacionar el consumo anual de energía y la longitud total de la red, se observa que la mejor eficiencia energética la obtiene la red operada en Londres, con 2.44 GWh/km de red. El metro de Madrid, a pesar de ser la segunda red más extensa estudiada, tiene el tercer consumo eléctrico más alto, ubicándose en segundo lugar respecto a la eficiencia energética por unidad de infraestructura vial, con 2.52 GWh por km

de red. Redes de metro con menos extensión, como Ciudad de México y París, registran un consumo energético más alto, con lo cual su relación de eficiencia está en 4.78 GWh/km y 3.93 GWh/km de red, respectivamente.

Cabe resaltar que São Paulo, con la red de metro más corta, tiene la relación consumo eléctrico/ longitud más elevada de las ciudades estudiadas, con 7.83 GWh/km de red, es decir un 63% más alto que el caso de Ciudad de México, metro con la segunda relación consumo-eléctrico/longitud más alta, pero con una red 3 veces más reducida.

Es importante mencionar que este indicador de eficiencia no debe ser visto de manera individual, sino que debe compararse y contextualizarse con otras variables, como se hará más adelante. Esto permite una verdadera comprensión de las condiciones de eficiencia del sistema.

En promedio, el consumo energético por km de red de las ciudades estudiadas está en 4.07 GWh/km, mientras que el promedio, eliminando a São Paulo y Madrid en el año 1995, se ubica en 3.54 GWh/km de red.

Tabla 7-1. Consumo energético por km de red los sistemas de metro analizados (GWh/km)

	Unidades	Madrid '95	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Consumo energético total	GWh	358.03	715.09	342.47	480.00	963.15	817.00	1,163.00
Extensión de red	km	120.90	283.30	85.10	61.30	201.40	208.10	476.50
Consumo energético por km de red	GWh/km	2.96	2.52	4.02	7.83	4.78	3.93	2.44

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Al analizar más en detalle el rendimiento energético de la operación de los diferentes metros estudiados, es decir, al relacionar el consumo energético de la red con el recorrido total por año (coche-km) en la red, Londres (2.55 kWh/coche-km) y São Paulo (4.82 kWh/coche-km) nuevamente están en el primer y último lugar, respectivamente, en términos de eficiencia. Este indicador, que mide la eficiencia operacional del sistema en términos de energía, representa con más certeza la realidad de los sistemas, en cuanto a su operación.

En tal sentido, se observa que Ciudad de México, a pesar de tener el segundo consumo más alto de energía, y ser la cuarta red en longitud, tiene una buena relación entre el consumo eléctrico y el número de kilómetros totales recorridos por coche en la red, con 2.74 kWh/coche-km, ubicándose en el segundo lugar en rendimiento. De esta manera, el sistema de metro de Ciudad de México refleja un uso eficiente de su material móvil, el cual recorre, como se ha comentado anteriormente, un mayor número de kilómetros por coche, que otras redes con mayor longitud de red. París, Santiago de Chile y Madrid le siguen en orden descendente, con eficiencias energéticas similares.

Con base a estas eficiencias, el consumo energético medio por coche-km está en 3.42, y obviando el consumo observado en São Paulo, el cual se puede considerar como anormal estadísticamente, y Madrid en el año 95, el consumo promedio alcanza los 3.05 kWh/coche-km.

Tabla 7-2. Consumo energético por coche-km en los sistemas de metro analizados (kWh/coche-km)

	Unidades	Madrid '95	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Consumo energético total	GWh	358.03	715.09	342.47	480.00	963.15	817.00	1,163.00
Km recorridos	Mill. C-km	93.50	202.40	105.30	99.60	351.88	256.22	455.80
Consumo energético por Coche-km	kWh / C-km	3.83	3.53	3.25	4.82	2.74	3.19	2.55

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

La eficiencia energética expresada en términos de consumo eléctrico por pasajero movido en la red, muestra un promedio de 0.78 kWh/pax, con un valor máximo de 1.07 kWh/pax para la red de Londres, y un mínimo de 0.53 kWh/pax para Santiago de Chile.

Cabe resaltar que el consumo energético por pasajero movido en el caso de São Paulo, resulta inferior al promedio general, lo cual indica que, a pesar de tener un alto consumo energético comparado con su infraestructura y con el número de coche-km recorrido, el volumen de pasajeros que mueve anualmente el sistema es considerablemente alto, tal y como se presentó en anteriores capítulos del presente informe.

Igualmente, el caso de Santiago de Chile resulta destacable, ya que con 85 km de red y 116 horas de operación a la semana, se consolida como el sistema que menor consumo eléctrico por pasajero movido utiliza. En general, de los datos calculados por el Grupo Consultor se evidencia que los sistemas de metro en Latinoamérica tienden a tener un menor consumo energético por pasajero, resultado directo de las mayores limitaciones económicas para expandir sus servicios, todo esto a expensas de una menor calidad al usuario.

De otro lado, es igualmente importante resaltar que Londres, a pesar de tener eficiencias energéticas altas respecto a su infraestructura y a los kilómetros recorridos, al relacionarse con el volumen de pasajeros movilizados no resulta tan eficiente, en comparación con las otras ciudades en estudio. Con una relación de 1.07 kWh/pax, Londres sobrepasa de lejos a su similar de París, pero está en parecidas condiciones que Madrid, cuyo sistema de metro tiene una eficiencia de 1.04 kWh/pax.

Tabla 7-3. Consumo energético por pasajero en los sistemas de metro analizados (kWh/pax)

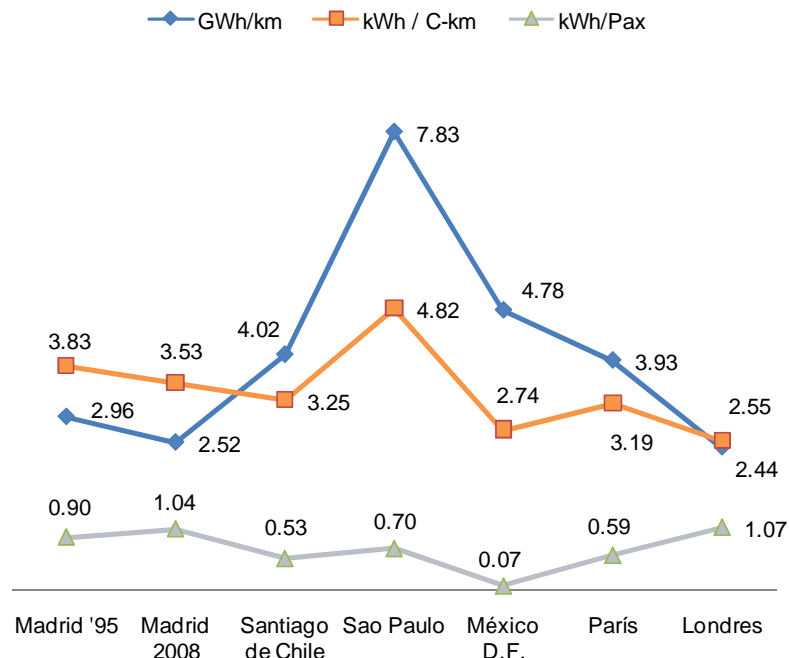
	Unidades	Madrid '95	Madrid 2008	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Consumo energético total	GWh	358.03	715.09	342.47	480.00	963.15	817.00	1,163.00
Pasajeros movidos	Mill. Pax	397.20	687.70	641.70	684.34	14,673.00	1,388.30	1,089.00
Consumo energético por pasajero movido	kWh/Pax	0.90	1.04	0.53	0.70	0.07	0.59	1.07

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Para un mejor entendimiento de los diferentes sistemas de metro estudiados, en lo referente a su desempeño energético, es importante relacionar cada uno de estos indicadores entre ellos. En este sentido, los sistemas de metro de Santiago de Chile, Ciudad de México, Londres y París, registran valores de eficiencia de operación (coche-km y pasajeros) promedio situados en un rango aceptable. En un segundo grupo, Madrid y São Paulo resultan como los sistemas de menor eficiencia energética promedio en el marco de las ciudades aquí estudiadas.

El indicador de eficiencia energética por unidad de infraestructura vial no resulta de vital importancia en la operación como tal de los servicios ofrecidos por el metro. Sin embargo, da una idea de la utilización que está teniendo la infraestructura.

Figura 7-2. Indicadores de eficiencia energética para los sistemas de metro estudiados



Fuente: Elaboración propia

7.1.2 Niveles de ruido

Una de las externalidades más relevantes en los sistemas de transporte urbano es la contaminación acústica generada por estos. Los sistemas férreos de metro, a pesar de operar con motores eléctricos para su propulsión, los cuales son silenciosos de por sí, generan a través de otros componentes mecánicos o por la interacción de las ruedas con el riel, niveles de ruido que en ocasiones sobrepasan los rangos máximos permitidos. El ruido generado en la operación del metro depende de varios factores, dentro de los que se consideran de mayor importancia los siguientes:

- El tipo de tracción que se utilice en el sistema (férreo o neumático)
- El estado de la vía

En cuanto al primer caso (tipo de tracción), los sistemas férreos generan un mayor ruido que los sistemas neumáticos, debido a la naturaleza misma de los materiales que componen sus elementos mecánicos de tracción, y a su interacción. Los sistemas neumáticos han demostrado en las ciudades donde funcionan que su operación produce menos ruido, tanto para los pasajeros en el interior de los coches, como para aquellos usuarios en las plataformas de espera en las estaciones.

En cuanto al segundo aspecto (estado del a vía), los rieles que por el uso han perdido su perfil original, tienden a generar un mayor ruido al contacto con la rueda del metro. De igual manera, las uniones soldadas en mal estado, y en general cualquier irregularidad en el riel trae como consecuencia directa, además de un desgaste de los elementos del tren y la vía, mayores niveles de ruido.

De acuerdo a las normas vigentes en las ciudades de estudio, los niveles máximos permitidos en horario diurno, y en zonas comerciales y de alta afluencia, que son aquellas donde, en general, operan las líneas de metro, están entre 65 dBA y 73dBA. En Ciudad de México y São Paulo, los niveles permitidos en estas mismas zonas son más exigentes, disminuyendo el valor máximo permitido hasta 62 dBA y 65 dBA, respectivamente.

Cabe destacar que en Ciudad de México y São Paulo, a pesar de tener los límites máximos de ruido más exigentes, las mediciones llevadas a cabo en estas ciudades dan cuenta de niveles de ruido que sobrepasan con holgura estos límites. En el caso concreto de Ciudad de México, se han registrado valores cercanos a los 100 dBA en lugares del metro, lo cual representa un exceso de aproximadamente 53%. Para el caso de São Paulo, el exceso registrado en mediciones sobre algunas líneas del metro ha llegado a valores cercanos al 20%.

Santiago de Chile, con una legislación algo más laxa, registra igualmente zonas puntuales en donde los niveles de ruido en las líneas de metro llegan a los 87 dBA, sobrepasando claramente los límites máximos permisibles en cerca de 25% respecto a la norma.

Tabla 7-4. Niveles de ruido máximos permitidos y observados

	Unidades	Madrid	Santiago de Chile	Sao Paulo	México D.F.	París	Londres
Niveles de ruido Norma	dBA	n/a	45-75	hasta 65	62 - 65	65-73	n/a
Niveles de ruido reales	dBA	n/a	80-87	75-78	hasta 100	hasta 76	n/a

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de diferentes autores y autoridades

Durante la etapa de construcción de los sistemas de metro en las ciudades estudiadas, las quejas o reclamos presentados por la ciudadanía, en relación a los niveles de ruido, están en su mayoría, asociadas al ruido generado por la maquinaria pesada que se requiere para este tipo de obras, y a los generadores necesarios para suministrar fluido eléctrico a los equipos de obra.

Para mitigar estos problemas, en ciudades como São Paulo se ha obligado a los contratistas a utilizar generadores eléctricos silenciosos, los cuales ayudan a reducir los niveles de ruido en el entorno de la obra civil.

7.1.3 Políticas y acciones en materia ambiental durante la construcción

Contrariamente a los anteriores puntos presentados, la información referente a las políticas ambientales de los sistemas de metro en las ciudades estudiadas (tanto en construcción como durante la explotación), no es homogénea en su contenido, por lo que su comparación directa resulta infructuosa. Por esta razón, a continuación se presentan los puntos en común que se han encontrado, así como algunas particularidades de cada caso estudiado.

La construcción de un sistema de metro implica grandes intervenciones civiles a lo largo de la ciudad, las cuales en menor o mayor grado generan diferentes impactos sobre los ciudadanos. Conscientes de estas externalidades, las autoridades competentes han implementado medidas y requerimientos ambientales

más exigentes a los contratistas, con el fin de reducir al máximo los impactos que se puedan desprender de las obras civiles. Se pueden resaltar los siguientes campos de acción:

- Previa construcción, se debe elaborar un plan de gestión ambiental o estudio ambiental o equivalente, en donde se identifican los problemas asociados a la construcción, y se establecen las acciones a seguir para eliminar o por lo menos mitigar estos problemas
- Transporte de material, escombros y residuos: se identificaron acciones y requerimientos claros tendientes a exigir el adecuado transporte desde obra, hasta el lugar de indicado por las autoridades locales para su depósito

El proceso de transporte incluye cumplir con normativas específicas en cuanto a evitar que la carga transportada pueda caer, o salir de su lugar de reposo

Igualmente, en algunas ciudades se ha prohibido el tránsito de vehículos de carga que transporten escombros u otro material de construcción en determinados horarios diurnos

- Preservación de patrimonio arqueológico: este aspecto resulta de mayor importancia en ciudades con zonas de valor arqueológico importante, especialmente Ciudad de México y Santiago de Chile. En este sentido, se ha promovido la utilización de nuevas tecnologías para la detección de estas zonas. Además, la legislación requiere la preservación y conservación de todos aquellos elementos arqueológicos que se encuentren durante la construcción de la red de metro
- Gestión del tráfico vehicular: se debe preparar un estudio de impacto vial o equivalente, con el objetivo de identificar los tramos de vía críticos, y de esta manera presentar propuestas para su solución.

Se debe colocar la adecuada señalización en los sitios requeridos, que advierta a los conductores de la obra, y que además permita a los conductores tomar fácilmente los desvíos

Para evitar el levantamiento excesivo de material particulado, se debe humedecer constantemente las superficies interiores de la obra, así como las vías de acceso y salida de la obra

- Manejo de materiales contaminantes y/o peligrosos: en lo posible, se debe evitar la utilización de materiales que pongan en peligro el medio ambiente o la integridad física de los trabajadores o usuarios finales

El almacenamiento de combustibles o productos peligrosos se debe llevar a cabo bajo supervisión estricta de personal cualificado para estas tareas

- Uso de materiales ambientalmente sostenibles: se promueve el uso de materiales y métodos constructivos menos nocivos con el medio ambiente, de tal modo que su huella ecológica sea lo menos dañina posible

7.1.4 Políticas y acciones en materia ambiental durante la operación

Durante la explotación del sistema, contrariamente a la etapa de construcción, se evidenció que las estrategias medioambientales no eran suficientemente sólidas. Este es el caso del metro de Santiago de Chile, en donde, a pesar de realizarse actuaciones concretas aisladas, éstas no están articuladas ni cobijadas bajo una estrategia ambiental integral. Actualmente se trabaja en la elaboración de los lineamientos estratégicos para una política de gestión ambiental integral.

Caso contrario es París, Madrid y Londres, en donde se ha evidenciado un amplio plan de gestión ambiental orientado a tratar una serie de factores inherentes a la operación del metro, los cuales causan de una u otra manera un desgaste ambiental importante.

El principal esfuerzo en materia ambiental de los sistemas de metro de las ciudades en estudio, se enfoca en lograr una mayor eficiencia energética durante la operación del mismo. Esto se ha venido trabajando de diferentes maneras en las redes de metro, de acuerdo a sus necesidades, pero también de acuerdo a sus limitaciones presupuestarias. En este sentido, las acciones seguidas por las empresas operadoras han sido principalmente las siguientes:

- Mayor utilización de fuentes de energía renovable: a través de mecanismos institucionales, se han dado procesos para tener acceso a energía limpia, tales como hidroeléctricas, eólica, y solar
- Utilización de luminarias de última generación en estaciones: estas luminarias son de bajo consumo, mayor luminosidad y de mayor duración lo que resulta en un ahorro significativo de energía
- Utilización de sistemas automáticos de apagado de luces en estaciones y oficinas, así como de software para la regulación de la iluminación en las estaciones, de acuerdo a la intensidad luminosa natural
- Uso de paneles solares para usos limitados
- Implementación de equipos y programas para la optimización del uso de la energía durante la operación del material rodante
- Utilización de sistemas regenerativos de energía en los coches

Además del tema de ahorro de energía expuesto anteriormente, puntualmente, en el caso de Chile los esfuerzos se enfocan en la armonización de los diseños para los viaductos y líneas en superficie, con el fin de darles mayores zonas verdes e iluminación. Así mismo, se trabaja en un proyecto para la recuperación y regeneración energética del calor acumulado en los túneles del sistema.

En São Paulo, además de las medidas en favor de la eficiencia energética y el uso de energías limpias para su funcionamiento, se instalaron una serie de medidores remotos de agua en las estaciones, y patios, con el fin de monitorear en tiempo real su consumo, y así poder tomar medidas cautelares para reducir el consumo de agua. De igual manera, cabe resaltar la promoción de diseños más ambientalmente sostenibles en las estaciones del sistema, que permitan la utilización de la iluminación natural, y que a la vez generen una mejor ventilación interior.

El metro de Madrid se destaca por incluir el manejo ambiental en el marco de su política estratégica, junto a temas como sociedad y economía. De igual manera, el certificado otorgado a Metro de Madrid en

relación a su Sistema de Gestión Ambiental del servicio de transporte público de pasajeros y mantenimiento de material móvil e instalaciones, es indicativo del nivel de compromiso de la empresa con los diferentes aspectos asociados a la sostenibilidad. La implementación de una política medioambiental transparente y eficaz, le ha hecho acreedor a la empresa de diferentes distinciones.

Asimismo, París, además de las acciones en eficiencia energética, lleva a cabo un exitoso plan para recoger agua de infiltración en los túneles del sistema, la cual es utilizada para diferentes labores dentro del proceso de operación del sistema. Igualmente tiene un programa para el reciclaje de material producido en sus instalaciones.

Por su parte, Londres recoge gran parte de las medidas vistas hasta ahora, y además incluye un cuidadoso plan de monitoreo de las variables e indicadores que se han generado en el marco de su plan de gestión ambiental. Este plan además establece actuar de manera adecuada con las necesidades de las zonas de influencia directa del metro. Esto implica el proteger, mejorar y monitorear los hábitats naturales existentes en la zona de influencia del metro.

En el caso de Ciudad de México se resalta por el fomento del transporte no motorizado, a través de la instalación de estacionamientos para bicicletas en las cercanías de las estaciones. El uso de materiales ambientalmente menos nocivos constituye uno de los pilares de la política de gestión ambiental del metro de la población, junto con la promoción de energías renovables, y la preservación de los vestigios arqueológicos que se encuentren en la zona de influencia del metro. Dada la importancia que tienen los acuíferos en la zona del Valle de México, la construcción de la nueva línea L12 supone la implementación de pozos de absorción que facilitan la recarga de los cuerpos de agua subterránea en la zona de influencia de la nueva línea.

7.1.5 Impacto urbano asociado a los métodos de construcción

Durante las etapas de construcción de los sistemas de metro, se generan una serie de dificultades en el entorno urbano, las cuales dependen enteramente del método que se utilice para la construcción y del tamaño de la intervención. En este sentido, como se ha presentado a lo largo del Producto número 12, existen básicamente tres tipos de infraestructura, las están asociados con unos métodos específicos de construcción.

La mayoría de la infraestructura vial se ha construido subterráneamente, lo cual ha implicado la utilización de dos métodos de construcción, fundamentalmente, con impactos sobre el entorno urbano diferentes.

En los casos en donde el suelo tiene propiedades mecánicas bajas, como alta compresibilidad, baja resistencia al corte y alto contenido de agua, ha sido necesario la construcción de los cajones o túneles de hormigón haciendo excavaciones a cielo abierto. Este método, además de hacer la construcción más lenta que con otros métodos, implica el cierre total de las vías públicas por donde se deben ejecutar las obras. En tal sentido, el impacto que se genera sobre el entorno urbano es de consideraciones mayores, ya que se afectan una serie de factores paralelamente, que en conjunto producen graves trastornos urbanísticos. Entre los factores más importantes se destacan:

- Desviación del tráfico: el tráfico debe ser desviado en su totalidad por vías alternas
- Interrupción en el flujo peatonal: las excavaciones generalmente ocupan toda la vía pública, por lo que los senderos peatonales quedan reducidos a un espacio mínimo

- Contaminación visual generada por las obras a lo largo de la vía pública: las excavaciones y las barreras protectoras distorsionan y contaminan visualmente el entorno urbano
- Emisión de material particulado: el material arcilloso excavado se seca y produce gran cantidad de material particulado

La confluencia de todos estos factores en este método constructivo, hace que éste sea el método que mayor impacto genera sobre el entorno urbano.

En los casos donde se utilizan métodos de construcción como tuneladoras, el NATM o cualquier otro método de avance subterráneo, las implicaciones prácticas sobre el entorno urbano son considerablemente menores, toda vez que casi en su totalidad, los trabajos se llevan a cabo bajo tierra, pero sin interrumpir las actividades cotidianas en superficie. Sólo en aquellos sitios en donde se construyen las estaciones se afecta la cotidianidad en superficie.

En cuanto a los métodos constructivos para la infraestructura elevada/viaducto, por la naturaleza de las estructuras utilizadas, el impacto sobre el entorno urbano es de importante consideración. Bien sea utilizando vigas prefabricadas, o dovelas, el impacto visual de los peatones sobre el entorno urbano es casi igual, aunque cabe anotar que las dovelas, gracias a su forma geométrica y a sus acabados más “limpios”, es más aceptada urbanamente. Otra ventaja del sistema constructivo con dovelas es que la obstrucción al tráfico se disminuye a 100 m, mientras que la colocación de las vigas prefabricadas supone la interrupción del tráfico en una franja de no menos de 200m. Durante la construcción de este tipo de obras, cualquier acción o medida que disminuya la interrupción del tráfico, sólo trae beneficios a los usuarios de las vías, por lo que el sistema de dovelas, a pesar de ser algo más costoso, representa un beneficio social importante durante la etapa de construcción.

En cuanto a los métodos constructivos en superficie, el impacto que éstos generan en el entorno urbano es equiparables con los de la construcción de una vía convencional. Factores contaminantes, tales como interrupción en el tráfico, contaminación visual de la obra, emisión de materia particulado, e interrupción del flujo peatonal, son de similar magnitud a los que se presentan durante la construcción o adecuación de una vía.

7.2 Fortalezas y debilidades asociadas al impacto ambiental derivado de la explotación de los sistemas metro analizados

A continuación se realiza la identificación de fortalezas y debilidades relacionadas con el manejo ambiental asociado al metro, tanto durante la construcción del mismo, como durante la operación, detallándose los principales elementos característicos.

7.2.1 Fortalezas

La eficiencia energética operacional, medida como el consumo energético sobre los coche-km o pasajeros movilizados, resulta claramente de mayor importancia que la eficiencia energética en términos de infraestructura. En este sentido, Londres (2.55 kWh/coche.km) encabeza la lista con mayor eficiencia energética en términos de coche-km, mientras que Santiago de Chile (0.53 kWh/pax) hace lo mismo con la eficiencia en términos de pasajeros movidos.

Las ciudades europeas muestran un mayor desarrollo que las latinoamericanas en cuanto al establecimiento e implantación de una Política de Gestión Ambiental en las empresas de metro. En estas

ciudades, la estrategia medioambiental está consolidada fuertemente dentro del marco de políticas estratégicas que dan los lineamientos de acción a la operación del metro.

Los sistemas de metro estudiados tienen un componente medioambiental primario enfocado a lograr una mayor eficiencia energética durante la operación del mismo. En este sentido, las buenas prácticas van desde acciones sencillas, instalar luminarias ahorrativas y programar el encendido de la iluminación, hasta soluciones más complejas y costosas como la implementación de equipos y software que permita regular la iluminación de las estaciones dependiendo de la intensidad de la iluminación natural.

Durante los últimos años se ha generado una mayor conciencia por parte de los diseñadores y planeadores de las redes de metro, para insertar de manera más armoniosa las estaciones de metro en el contexto urbano local, y de esta manera mitigar los conflictos que este tipo de obras producen.

Hoy en día existen métodos constructivos, para el caso de infraestructura subterránea, que permiten mitigar o eliminar en gran medida las interrupciones y obstrucciones en la superficie, y por ende disminuyendo los costos sociales que se generan por estas externalidades.

7.2.2 Debilidades

En el contexto latinoamericano se evidenció, de acuerdo a la información disponible, una menor sofisticación en cuanto a las políticas de gestión ambiental, en especial aquellas orientadas a la operación del sistema, a pesar de haber iniciativas individuales de gran importancia en las empresas de metro.

A pesar de existir una normativa que limita los niveles máximos de ruido permitidos en las ciudades estudiadas, en todas ellas se sobrepasan los límites de ruido en las instalaciones del metro, llegando en algunos casos a excederse estos límites por más del 20%. En comparación con las recomendaciones internacionales (50dBA), los registros reales de emisiones de ruido pueden llegar a duplicarse.

No se evidenció que las empresas operadoras llevaran a cabo periódicamente mediciones de ruido en las estaciones del metro y/o en sus inmediaciones, de tal modo que se pueda monitorear la evolución de este importante indicador, y por lo tanto se puedan tomar medidas correctivas, de ser el caso.

Los tramos de vía elevados se consideran altamente contaminantes para el entorno urbano de la ciudad, ya que obstruyen la vista de los peatones, pero además, y quizás más importante aún, la infraestructura vial elevada se constituye en un elemento que fragmenta la ciudad en su tejido urbano. A pesar de haber hoy en día métodos constructivos más amables visualmente, los efectos del impacto visual que este tipo de infraestructura causa no se mitigan fácilmente.

8 EJE 7: ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO

Dentro del presente eje de análisis se realiza una evaluación comparada de las 6 experiencias internacionales de sistemas de transporte público masivo tipo metro incluidas en este estudio. Se evalúa el impacto socioeconómico asociado al funcionamiento de dichos sistemas de forma comparada. También son presentados diferentes aspectos particulares que se ha considerado oportuno resaltar como indicativos desde la perspectiva socioeconómica de los sistemas.

Cabe destacar que para este eje en particular la comparación sistemática es de una mayor dificultad, debido a que cada uno de los sistemas posee una manera diferenciada de presentar los impactos socioeconómicos que las respectivas redes representan en la sociedad.

8.1 Análisis comparado de las características asociadas al impacto socioeconómico de los sistemas

La implementación de un sistema metro como soporte a la movilidad de una ciudad supone un impacto socioeconómico relevante en el funcionamiento integral del sistema de transporte. En este sentido, un sistema férreo de características masivas tiene un impacto ampliamente relevante, dado el servicio que presta a un segmento de población importante en términos de tiempos en los desplazamientos de los usuarios, así como a usuarios de otros sistemas integrados al mismo. Por otro lado, cobra gran importancia el impacto que éste tiene en el nuevo concepto de movilidad derivado de su implantación, estableciéndose una nueva estructuración del mercado de la movilidad, así como las implicaciones que dicho aspecto tiene en cuanto a costos de transporte y ambientales.

A tal efecto, en el presente numeral se desarrolla un análisis comparativo de las diferentes variables asociadas a aspectos socioeconómicos que se han encontrado relevantes a lo largo del estudio.

8.1.1 Medición del impacto socioeconómico

El análisis individualizado de las diferentes experiencias metro analizadas ha establecido de manera diversa una medición de los impactos socioeconómicos asociados a su implementación.

Por ejemplo, las explotaciones en las ciudades de Madrid y São Paulo han cuantificado los costos o beneficios generados por la utilización de sendos servicios metro en detrimento de la utilización de los vehículos privados. En particular, el sistema madrileño diferencia sus partidas de costo en 3 agregaciones tipológicas: costos económicos, costos sociales y costos ambientales, tomándose en consideración para cada una de ellas aquellos aspectos más relevantes desde el punto de vista cuantitativo o científico.

Por su parte el sistema metro de São Paulo ha generado un análisis similar pero en base a la medición de los beneficios sociales o ahorros generados por la implementación de este sistema de transporte público. Esta metodología se basa en la cuantificación interanual y posterior valorización monetaria de los beneficios recabados por el sistema como consecuencia del uso del metro por parte de la población, con la premisa de cuáles serían los hipotéticos costos sociales en que se incurriría si dicho sistema no estuviese implantado y sus actuales usuarios se viesan obligados a usar el transporte privado, red de autobuses y servicios de taxi. Las distintas partidas de beneficios socio-económicos o ahorro respecto a la situación “sin metro” se distinguen de acuerdo a las siguientes agregaciones tipológicas: beneficios ambientales, beneficios operacionales y beneficios sociales.

En el caso de estos 2 casos se ha logrado realizar una cuantificación monetaria de variables directamente relacionadas con los impactos socioeconómicos de la utilización del metro. En concreto, en

el año 1996, el sistema de metro madrileño supuso en concepto de tiempos de viajes (valorado en base a la cuantificación del tiempo de transporte así como la valoración económica de dicho tiempo para los diferentes sectores económicos y motivos de viaje) costos para la sociedad por un total de cerca de 843 millones de euros (1,180 millones de dólares). Mientras que por motivos relacionados con accidentes (valorados a partir del número de casos accidentados y al número de víctimas de los mismos, así como la cuantificación en costo según consecuencias derivadas de estos), los costos asociados alcanzaron los 8.59 millones de euros (12 millones de dólares).

En São Paulo, con respecto a la reducción de tiempos de viaje, el ahorro alcanzó en 2008 los 1,175.9 millones de dólares, mientras que el ahorro en lo referente a la reducción del número de accidentes se tradujo en unos beneficios para la sociedad por un total de 64.8 millones de dólares.

Es preciso destacar las diferentes metodologías empleadas para estimar los impactos socioeconómicos que la implementación de las redes conlleva a la sociedad empleadas en los estudios realizados en relación a sendos sistemas metro analizados.

8.1.2 Perfil de los usuarios del sistema

Otro de los aspectos que forman parte del análisis del impacto socioeconómico en los respectivos sistemas metro analizados hace referencia al perfil de usuario de estos sistemas, es decir, la distribución de los usuarios del sistema en función de sus recursos o pertenencia social.

De acuerdo a la información proporcionada por el operador de metro de Santiago de Chile, se ha podido identificar la población captada anualmente por el sistema para cada rango de ingresos, con lo cual se obtiene el perfil socioeconómico de los usuarios del sistema metro.

Por ejemplo, en el año 2008 el sistema metro santiaguense fue utilizado en un 43% por usuarios con ingresos hasta los USD 1,100, en un 26% por pasajeros con entradas inferiores a los USD 3,500, situándose en tercer lugar los usuarios con ganancias inferiores a los USD 600 dólares mensuales con el 19%. Por su parte, los usuarios con ingresos superiores a los USD 3,500 representaron el 9% del total, mientras que el sector con menos beneficios (inferiores a los USD 250) tan sólo supusieron el 3% de los usuarios totales del sistema.

Por su parte, el sistema metro de la ciudad de México D.F. realiza una caracterización del usuario promedio no sólo a partir de sus ingresos mensuales sino también a partir de su situación laboral actual y al sector de la economía en donde se desarrolla. A partir de la información se puede inferir que la media de los usuarios de este sistema tiene un salario de USD 412, con una media de años de estudio cercana a los 11. Del 74% de los usuarios económicamente activos, el 68% trabaja en el sector terciario y el 32% en el sector secundario, observándose que el 20% de los usuarios son desocupados y el 6% jubilados.

8.1.3 Accesibilidad

Uno de los aspectos actualmente más determinantes en el diseño y ejecución tanto de nuevas estaciones o puntos de acceso a la red, como en las remodelaciones de estaciones ya existentes, es la disponibilidad de éstas de infraestructura y elementos que permitan el acceso al servicio a aquellos usuarios con problemas de movilidad (PMRs).

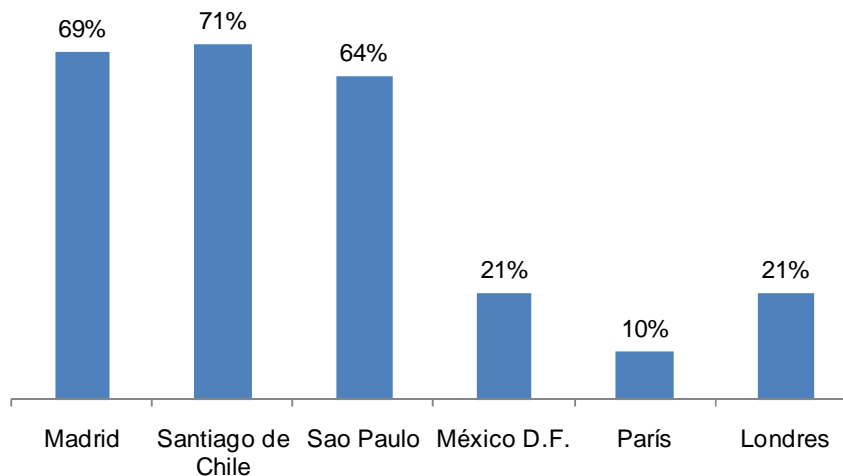
En lo que se refiere a las medidas que cada uno de los sistemas metro estudiados lleva a cabo para permitir a los usuarios con movilidad reducida acceder a la utilización del mismo de manera cómoda y no encontrarse con restricciones de índole arquitectónica, se han comparado los distintos sistemas

estudiados en términos de porcentaje de estaciones adaptadas al acceso de personas de movilidad reducida.

Santiago de Chile es la red de metro con un mayor porcentaje de paradas adaptadas para personas con movilidad reducida, contando con el 71% de ellas habilitadas. En el otro extremo se sitúa el sistema de metro de París, con una infraestructura demasiado anticuada y estaciones inmersas en un casco urbano de gran consolidación y de difícil adecuación, contando con un 10% de sus paradas habilitadas.

Es importante mencionar que en todos los casos los nuevos proyectos de ampliación, mejora o construcción de nuevas líneas contemplan en su totalidad la implementación de medidas para revertir esta situación y eliminar paulatinamente las restricciones con las que se encuentran estos usuarios a la hora de poder utilizar el servicio. A tal efecto, la mayor parte de los sistemas analizados cuentan con planes de adecuación de sus estaciones.

Figura 8-1. Porcentaje de paradas adaptadas para personas de movilidad reducida para las distintas experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia

8.1.4 Uso del transporte público en función de la localización

Entre los diferentes casos analizados, para los sistemas de movilidad de las ciudades de México D.F., París y Londres se ha obtenido información relativa a la distribución del uso del transporte público desagregado por zonas.

Cabe destacar como factor común el hecho de que en todos los casos recopilados, los viajes realizados en transporte público se efectúan, mayoritariamente, en el núcleo urbano, siendo las zonas periféricas aquellas en las que se movilizan más vehículos privados para realizar los viajes debido a la menor cobertura global del sistema de transporte público de que disponen.

En los casos concretos de París y Londres, para los cuales se que dispuesto de datos concretos, los movimientos en transporte motorizado que se realizan en el centro se efectúan en más de dos terceras partes en transporte público, mientras que en los recorridos periféricos, dicha cifra se reduce hasta valores inferiores al 20%. Asimismo, cabe destacar que los viajes entre las zonas periféricas y el centro

se realizan de manera mayoritaria con transporte público que representa más de la mitad de los viajes realizados.

En cuanto a volumen de movilidad, se debe destacar que los viajes que se realizan en mayor cantidad son los que tienen origen y final en las zonas periféricas (en París, un 70% y en Londres, 48%), realizados en los diferentes modos de transporte que integran los diferentes sistemas de transporte público existentes.

8.1.5 Implantación de red

La implementación de un sistema de transporte masivo como es el metro requiere de un análisis pormenorizado de los requerimientos en cuanto a movilidad que tiene el ámbito en cuestión que permita identificar las líneas de deseo actuales y patrones de movilidad asociados a los potenciales usuarios del sistema.

En este sentido, las ciudades de París y Londres, debido a la gran cantidad de viajes que se realizan entre las zonas de carácter periférico, se han planteado sendos proyectos para mejorar la cobertura del transporte público masivo, previendo con su implantación un incremento del transporte público la caracterización de la movilidad según modo.

En concreto, Londres se ha planteado la ejecución de una línea que sirva a las zonas este y oeste de la región londinense cruzando el centro, lo que posibilitará aumentar la conectividad de las dos zonas periféricas y mejorar además la frecuencia de paso en la zona más céntrica.

Por su parte, la ciudad de París pretende llevar a cabo una combinación de líneas concéntricas que den servicio a los *banlieues*, comunicándolos entre ellos, y un corredor que recorra el núcleo parisino de norte a sur (entre Saint-Denis, al norte, y Villejuif, al sur).

8.1.6 Uso de vehículos no motorizados

Con vistas a un sistema de transporte global que suponga una mejora de los costos medioambientales que actualmente recaen sobre la sociedad, diversos sistemas de transporte tipo metro plantean en sus desarrollos futuros la potenciación e interconectividad con otros modos de transporte no motorizados, como es el caso de las bicicletas.

Entre los diferentes sistemas estudiados en el presente benchmarking, únicamente el sistema de París ha implementado hasta la fecha un servicio público de alquiler de bicicletas (con costo reducido) para los residentes de la región. Dicho sistema permite a los usuarios realizar un trayecto no servido por la red de metro en bicicleta, recorriendo el tramo troncal de su desplazamiento con el sistema de transporte masivo, y finalizar el viaje hasta su destino utilizando de nuevo un vehículo no motorizado.

Adicionalmente, cabe destacar que el sistema de transporte de Londres, debido a la aceptación de los vehículos no motorizados allí donde se han adoptado como modo de transporte, tiene previsto poner en funcionamiento para el año 2010 un sistema público de alquiler de bicicletas.

8.2 Fortalezas y debilidades asociadas al impacto socioeconómico de los sistemas metro analizados

A continuación se realiza la identificación de fortalezas y debilidades asociadas a los sistemas de metro estudiados en lo referido a los aspectos del impacto socioeconómico.

8.2.1 Fortalezas

Con respecto a las fortalezas asociadas al análisis socioeconómico realizado, se puede destacar la importancia de realizar estimaciones cuantitativas de los beneficios que la implementación de este proyecto supone para la sociedad en su conjunto. De esta manera se pueden justificar las inversiones asociadas a un proyecto de la envergadura de un sistema metro, cuantificando los ahorros en tiempos de viajes de los usuarios, reducción de accidentes y contaminación atmosférica, entre otros. En este sentido se puede mencionar los estudios y trabajos al respecto realizados en los casos de Madrid y Sao Paulo.

Otra fortaleza identificada es la posibilidad de poder construir las estaciones adaptadas para personas de movilidad reducida. Al encontrarse el proyecto en su etapa inicial se pueden diseñar las estaciones y paradas de tal forma que cuenten con estos requisitos que actualmente pueden considerarse indispensables.

Además, desde el punto de vista socioeconómico podemos afirmar que el metro es un sistema de transporte público usado por todas las clases sociales, debido que entre sus usuarios podremos encontrar tanto a personas bajos ingresos como aquellos con salarios más elevados.

Asimismo, otra fortaleza identificada es la factibilidad y viabilidad de expandir las redes en caso de que se desarrollen nuevos corredores con gran demanda de usuarios.

Por último, se debe destacar la efectividad que muestra el caso de París con respecto a la complementación de sistemas metro con otros sistemas de transporte público no motorizados, como los sistemas de bicicletas. Estos permiten al usuario desplazarse en tramos de distancias más cortas, o en zonas donde el metro no tiene cobertura, lo que amplía su área de influencia, gracias a la intermodalidad entre el metro y el sistema de bicicletas públicas.

8.2.2 Debilidades

En lo referente a las debilidades del sistema metro se debe destacar que con frecuencia la construcción de nuevos sistemas metro traen aparejados impactos socioeconómicos negativos como pueden ser la contaminación visual en los casos en que los trenes circulan por la superficie.

Por otra parte, la remodelación de las estaciones para poder cumplir con estas normas es mucho más costosa tanto a nivel social como financiero debido a las afectaciones que implica la realización de obras en una zona altamente densificada.

9 EJE 8: ANÁLISIS FINANCIERO

En el presente capítulo se presenta el análisis comparado de las 6 experiencias estudiadas así como fortalezas y debilidades asociadas a las dimensiones que fueron analizadas: participación público privada, asignación de riesgos y financiación.

9.1 Análisis comparado de las variables e indicadores asociados al análisis financiero

En el presente numeral se caracterizan y analizan de forma comparada los diferentes aspectos asociados a la participación público privada, asignación de riesgos, esquemas de financiación y balances económicos de los distintos sistemas metros evaluados.

9.1.1 Participación Público Privada y Asignación de Riesgos

Participación Público Privada

Caso	Características del contrato	Remuneración al Privado	Descripción
Madrid - Boadilla	Contrato de concesión a 30 años para construir y explotar las líneas de metro ligero. El valor estimado del contrato fue de EUR 599 MM.	Tarifa técnica ofertada ajustada anualmente y una banda de reequilibrio entre el 68% y 100%	Esquema de participación basada en el modelo inglés debido a que el Consorcio Regional de Transporte paga al concesionario de acuerdo al número de usuarios de la infraestructura por una tarifa técnica (superior a la cobrada). Lo anterior significa que el Consorcio Regional de Transportes de Madrid subsidia a los usuarios de la infraestructura.
México	Contrato de concesión a 30 años para construir y explotar el ferrocarril suburbano. El monto estimado de la inversión fue de EUR 510 MM.	Tarifa técnica ajustada anualmente. Con el fin de disminuir el riesgo de demanda se constituyeron dos fondos: - Fondo de apoyo a la infraestructura ferroviaria. - Fondo contingente	En el caso de México se utilizó un esquema de participación basada en una concesión de uso de un servicio público debido a que se le otorgó el derecho de uso de la infraestructura por un periodo definido. El concesionario está encargado de operar una infraestructura ya existente, así mismo debe realizar algunas obras de civiles dentro de la infraestructura.
Sao Paulo	Construcción: Contrato de obra pública para la construcción de la infraestructura de la línea 4 del metro. El valor aproximado del contrato fue de USD 380 MM. Operación: Una vez terminada la construcción, el Estado entrega en concesión para la operación y mantenimiento por	Construcción: Con recursos públicos de acuerdo a los avances en obra y cronograma de entrega. Operación: Existe una tarifa técnica que se ajusta de acuerdo al comportamiento de una canasta de índices. Así mismo, una banda de reequilibrio de +/- 10% y +/- 40% de la demanda presupuestada.	Construcción: El Estado contrató al consorcio para que se responsabilizara de la construcción, financiación y entrada en funcionamiento de la línea 4 del metro de acuerdo a los cronogramas y parámetros exigidos. Este tipo de contrato integra y consolida varias actividades en un solo contratista privado. Cuando termina la construcción, la propiedad de es trasladada al Estado de Sao Paulo. Operación: Se utilizó un esquema de participación basada en un contrato de concesión de uso de un servicio público debido a que se le otorgó al privado el derecho de uso de la infraestructura por 30 años, y una vez cumplido el plazo, la

Caso	Características del contrato	Remuneración al Privado	Descripción
	un plazo de 30 años. Valor estimado USD 210 MM		compañía no sólo reintegra la infraestructura si no también cede al Estado las inversiones realizadas en esta. Así mismo, la empresa está encargada de la administración y de ejecutar obras de mantenimiento en la infraestructura.
Santiago de Chile	Contrato de obra pública para realizar contratos específicos	N.D.	En el caso chileno se utilizó un esquema de participación basada en que la administración pública ejecuta el proyecto de infraestructura a través de contratos específicos que son ejecutados por privados, los cuales son seleccionados por medio de procesos de licitaciones públicas. Los trabajos realizados por los privados son pagados por la administración pública con recursos ya aprobados del presupuesto de la entidad.
París	Contrato de obra pública para realizar contratos específicos	N.D.	El sistema de transporte de la Ile de France ha realizado la construcción de la infraestructura mediante un esquema de participación basada en que la administración pública, por medio de las empresas responsables de cada una de las infraestructuras, ejecutan los proyectos de inversión a través de contratos específicos que son realizados por privados, los cuales son seleccionados por medio de procesos de licitaciones públicas. Los trabajos realizados por los privados son pagados por la administración pública ya sea a través de las empresas que operan la infraestructura (RATP, SNCH, REF) o el STIF.
Londres	Concesión por 30 años para mantener, renovar y mejorar dos grupos de líneas del metro de Londres. Valor estimado de las inversiones para los primeros 7 años y medio: GBP 8.700 MM	El contrato se remunera con pagos mensuales denominados "Infrastructure Service Charge" los cuales son variable dependiendo del comportamiento de 4 variables: disponibilidad, capacidad, ambiente (experiencia del cliente) y puntos de servicio.	Se utilizó un esquema de participación público privada que los vincula mediante un contrato de mantenimiento, renovación y mejora de grupos de líneas por un plazo de 30 años. Por su parte el Estado, a través de London Underground remuneraba a los privados mediante pagos mensuales. Durante la vigencia de los contratos London Underground mantiene la propiedad de los activos asignados a los contratistas, al igual que el control de la operación del sistema.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

Asignación de Riesgos

Caso	Construcción	Operación	Demanda	Financiación	Macroeconómicos
Madrid - Boadilla	Privado	Privado	Público y Privado*	Privado	N.D.
México	Privado	Privado	Público y Privado	Público y Privado	N.D.
Sao Paulo (Para caso de O&M)	Público	Privado	Público y Privado*	Privado	Público
Santiago de Chile	Público y Privado	Público	Público	Público	N.D.
París	Público y Privado	Público	Público	Público	N.D.
Londres	Público y Privado	Público	Público	Público y Privado	N.D.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

* Existen bandas de reequilibrio

Los casos analizados muestran diferentes formas de asignación de riesgos, mezclando las responsabilidades de los públicos y los privados.

- **Riesgo de Construcción:** En lo relacionado con los riesgos de construcción, existen casos, como el de Madrid y México, en los cuales los privados asumieron los riesgos de construcción, pero corresponde a casos en los cuales las obras que se iban a realizar era en proyectos con estudios completos de diseño e ingeniería o sobre infraestructuras ya existentes. Para los demás casos, el riesgo de construcción se asume de manera compartida, en el cual se le asigna al privado los riesgos de sobrecostos, disponibilidad de materias primas y retrasos, mientras el público asume riesgos geológicos y de disponibilidad de predios
- **Riesgo Operación:** En los casos en que los riesgos de operación son asumidos por los privados, corresponde a los casos en los cuales parte del contrato de concesión incluía la operación del sistema. Para los demás casos el riesgo de operación no fue transferido al privado, debido a que la participación de estos se encontraba limitada a la ejecución de contratos de mantenimiento o construcción, así mismo, los 3 casos que presentan como público el riesgo de operación son aquellos que presentan sistemas de transporte integrados
- **Demanda:** En los casos analizados en los cuales el riesgo de demanda lo mantiene el público, son aquellos en los que no se entrega la operación del sistema a un privado, así mismo, en estos casos la remuneración del privado no depende del uso del sistema, sino se realiza mediante pagos establecidos contractualmente en los contratos y son dependientes de parámetros operacionales del servicio. En lo relacionado con los casos que presentan el riesgo de demanda compartido entre el público y el privado, son aquellos en los que la remuneración de la concesión se encuentra en función del número de pasajeros, sin embargo, es compartido porque el público ofrece mecanismos de cobertura al privado, (como bandas de reequilibrio y tarifa técnica)

- Financiación: Para los casos que este riesgo es transferido totalmente al privado, es cuando este es el único responsable de obtener y cerrar la financiación, así mismo, en estos casos, el público no otorgó ningún tipo de garantía directa a los privados, sin embargo, para que los privados lograran los cierres financieros fue necesario que el público compartiera el riesgo de demanda. Los casos que presentan compartido el riesgo de financiación son aquellos en los cuales los gobiernos constituyen un fondo contingente para el servicio de la deuda o el Estado garantiza las obligaciones financieras

9.1.2 Esquemas de financiación

A continuación se presenta las opciones de financiación utilizadas por 5 de los 6 casos analizados.

	Madrid	México	Sao Paulo	Santiago	París
Modalidad	Crédito Senior	Crédito Senior	Crédito Senior	Crédito Sindicado y Bonos	Bonos
CONDICIONES	<p>Tramo A: sindicado para financiar costos del proyecto, hasta por el 90% del valor, con plazo de 27 años y 2 años de gracia</p> <p>Tramo B: Crédito a LP con amortizaciones de acuerdo a las condiciones del tramo A. Los recursos se utilizaran para financiar necesidades de tesorería. El monto es de EUR 45 MM</p> <p>Tramo C: Para financiar inversiones adicionales por un monto hasta de EUR 125 MM con un plazo de 27 años</p> <p>Crédito IVA</p>	<p>Tramo A: Crédito por EUR 190 MM para financiar las obras y suministros. Plazo 14 años</p> <p>Tramos B: Crédito por EUR 27 MM, para financiar 20 coches adicionales. Plazo de 14 años</p>	<p>Tramo A: Crédito por USD 96.87 MM, otorgado por el BID con un plazo de 15 años y un periodo de gracias de 18 meses</p> <p>Tramo B: Crédito sindicado por EUR 213.2 MM, por un plazo de 12 años y un periodo de gracia de 18 meses</p> <p>Crédito puente: Con un plazo de 4 meses</p>	<p>SINDICADO</p> <p>Tramo A: Crédito comercial por USD 130 MM con plazo de 12 años y gracia de 4 y ½ años</p> <p>Tramo B: Crédito de Exportación por USD 263 MM con plazo de 14 y ½ años y gracia de 4 y ½ años</p> <p>Tramo C: Crédito local por 9.2 MM de Unidades de Fomento (UF) (USD 310 MM) con plazo de 12 años</p> <p>BONOS</p> <p>Serie H: por 1 MM de UF a 12 años con tasa de 4.45% EA</p> <p>Serie I: Por 850 M UF a 21 años con tasa de 4.75 EA</p>	<p>Serie 1: Por EUR 550 MM con un plazo de 10 años y una tasa de 4.5%</p> <p>Serie 2: CHF 200 MM, con un plazo de 8 años y una tasa de 3.375%</p> <p>Serie 3: CHF 150 MM con un plazo de 9 años y una tasa de 3.25%</p> <p>Serie 4: EUR 100 MM, con un plazo de 10 años y una tasa de 4.5%</p>

Garantías	<ul style="list-style-type: none"> - Pignoración de las acciones y de las cuentas del proyecto - Derecho real de prenda sobre los derechos de cobro derivados de los contratos del proyecto, de cobertura de tipo de interés - Pignoración de los derechos de cobro de las devoluciones de IVA y de los derechos de las pólizas de seguro - Promesa de hipoteca de la concesión y de los activos 	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura hasta del 99% y el 80% de los riesgos políticos por CESCE para el tramo A y B - Prenda de acciones de la concesionaria y de los bienes y derechos de esta. Fondo contingente para el Servicio de la Deuda otorgado por el Gobierno Mexicano y depositado en una cuenta del Fideicomiso por importe de USD 115 MM para cubrir el servicio de la deuda 	<ul style="list-style-type: none"> - Todos los bienes muebles e inmuebles, material rodante, acciones de la concesión y derechos de los contratos 	<ul style="list-style-type: none"> - SINDICADO - Para el Tramo A y B no cuenta con garantía explícita del gobierno. Para el tramo C garantía por USD 100 MM - BONOS - Primera emisión de bonos sin garantía del Estado Chileno, solo cuenta con la garantía de la empresa 	<ul style="list-style-type: none"> - Garantía de la compañía que por ser propiedad del Estado Francés, por lo tanto para el mercado, estos bonos cuentan con la garantía de la Nación
------------------	--	---	--	---	--

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

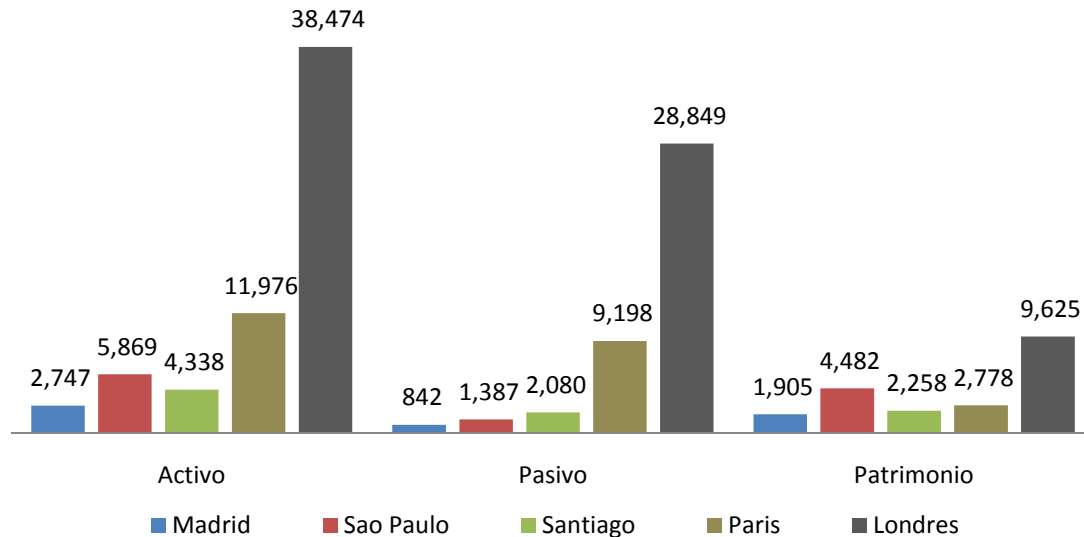
La anterior tabla resumen muestra que la principal fuente de financiación de los casos presentados son los créditos senior y bonos.

Los créditos senior son utilizados por los casos que están desarrollando infraestructura, es decir se utilizan los recursos para financiar la etapa de construcción. Así mismo, en los casos que se presentan créditos senior se tiene una estructura de garantías con el fin de cubrir el riesgo de crédito del proyecto. En lo relacionado con la financiación vía bonos, esta se presenta en casos que ya están en operación y en el mercado conocía la operación y administración de las compañías.

9.1.3 Balances económicos

Los balances económicos presentados por los distintos operadores de los sistemas metro permiten observar que el Transport for London es el más intensivo en activos, pasivo y patrimonio, lo cual se debe a que TfL concentra la operación de todos los sistemas de transporte de la ciudad Londres. El segundo lugar lo ocupa París, debido a que igual que en el caso de París concentra la operación de buses y metro que opera en la ciudad.

Figura 9-1. Balance general comparativo 2007 (USD MM)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

En lo relacionado con los activos totales, tanto para el caso de Londres como París presentan una mayor concentración en activos fijos, los cuales representan para el caso de Londres el 75% y en París el 88%. Lo anterior muestra que estas dos empresas mantienen la propiedad de las infraestructuras de varios sistemas de transportes.

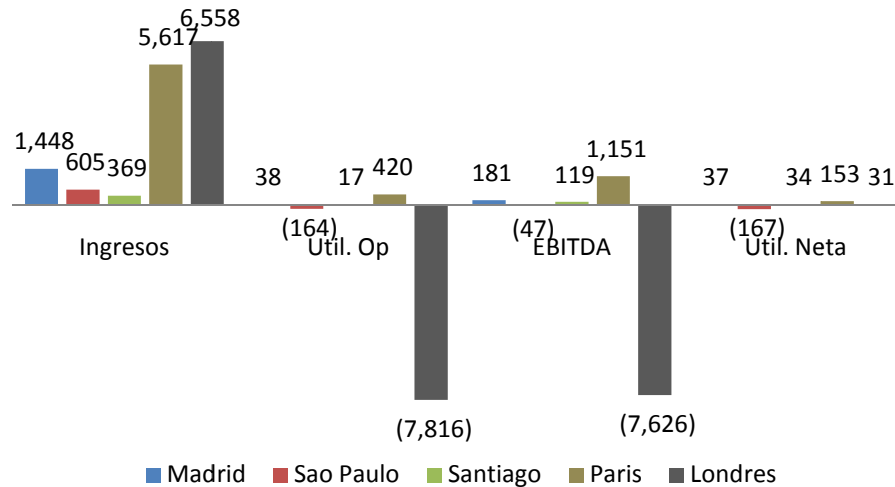
En lo relacionado con la estructura pasivo/ patrimonio, el caso de Sao Paulo es el que muestra mayor concentración en el patrimonio, siendo del 76%, seguido de Madrid con el 69% y Santiago con el 52%. Así mismo, el caso que presenta mayor concentración en el pasivo es París con el 77%, seguido de Londres con el 75%.

Las variaciones en los balances económicos asociados a los distintos sistemas metro son debidas, principalmente, a las distintas políticas de financiación de los activos por parte de las diferentes explotaciones o administraciones responsables. Así, París ha venido llevando a cabo grandes inversiones (p.e. Meteor) a cargo de la compañía explotadora, mientras que, en el lado opuesto, algunas infraestructuras, como es el caso de Madrid, no figuran en el balance de la empresa explotadora.

Análisis del Estado de Resultados

En lo relacionado con el estado de resultados, el comparativo entre los casos muestra que Londres y París son los casos que presentan los mayores ingresos operacionales, lo cual se debe principalmente a que estos dos casos administran las operaciones más grandes de los casos analizados.

Figura 9-2. Estado de resultados comparativo 2007 (USD MM)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

A pesar que el caso de Londres es el que presenta los mayores niveles de ingresos operacionales, el nivel de costos y gastos operacionales que presenta hace que este caso también muestre las mayores pérdidas operacionales y un EBITDA negativo por valor de USD 7.626 MM. Sin embargo, por los subsidios que recibe hace que su utilidad neta sea USD 31 MM, mostrando que la operación de este caso tienda a un punto de equilibrio.

Así mismo, el comparativo de los estados de resultados de los 5 casos, con excepción de Sao Paulo, muestran una tendencia a que las operaciones de estas compañías tiendan hacia un punto de equilibrio, lo cual refleja que estas compañía no generan ingresos ni son superavitarias en su operación, si no que por el contrario, su operación es deficitaria y llegan a puntos de equilibrio debido a subsidios dados por los gobiernos.

En lo relacionado con la composición de gastos operaciones, todos los casos muestran una distribución diferente lo cual se justifica no solo a las condiciones de la operación de cada uno, sino también a que cada uno de los casos agrupa responsabilidades distintas, ya sea en niveles de administración de infraestructuras, o de la operación del sistema.

Tabla 9-1. Composición de costos y gastos

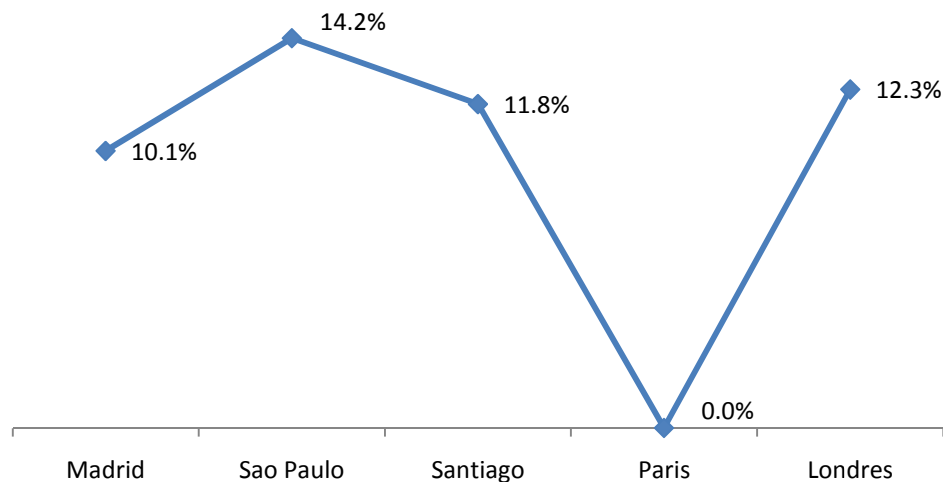
% costos y gastos	Madrid	Sao Paulo	Santiago	París	Londres
Personal	29%	N.D	20%	62%	17%
Depreciaciones y amortizaciones	10%	11%	29%	14%	11%
Otros	61%	89%	51%	24%	72%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

Como es el caso de la RATP (París) que se encarga de la operación del sistema, por lo cual es intensiva en personal. Para el caso de Londres, se concentra el 63% de los gastos en operación de la infraestructura, debido a que a pesar que la TFL no opere directamente ninguna de las infraestructuras, si brinda apoyo en operación a todo el sistema. Para el caso de Sao Paulo (gastos de explotación concentran el 56%) y Madrid, (gastos de explotación concentran el 59%), los costos de explotación de la infraestructura representan el mayor gastos debido a que estas compañías son las responsables de la operación del sistema.

En lo relacionado a los otros ingresos, para el año 2007 y sin tener en cuenta el dato del caso de París, estos presentaron una participación promedio del 12.1% de los ingresos operacionales totales.

Figura 9-3. Otros ingresos



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes casos estudiados

El caso de Sao Paulo es el que presenta una mayor participación seguidos de Londres, Santiago y Madrid. Sin embargo, los ingresos adicionales de los casos analizados son producto de varias fuentes de generación de ingresos adicionales como desarrollos inmobiliarios, alquiler de espacios comerciales y de infraestructura en redes, cobros por acceso a zonas de alta congestión vehicular, entre otros. Así mismo, estos otros ingresos se dieron por el esfuerzo de varios años de las infraestructuras por conseguir nuevas fuentes de ingresos.

9.2 Fortalezas y debilidades asociadas al análisis financiero de los sistemas metro analizados

A continuación se realiza la identificación de fortalezas y debilidades asociadas a los sistemas de metro estudiados en lo referido a los aspectos financieros.

9.2.1 Fortalezas

En cuanto a eficiencia, la red de metro de la ciudad de Santiago de Chile es el que obtiene un mejor desempeño, producto de la mayor disponibilidad del sistema en términos de kilómetros sin averías, así como por su gran utilización (pasajeros/kilómetro) debido a la aportación que supuso Transmilenio. Asimismo, dispone del mejor coeficiente de cobertura y un mejor ratio de costes por kilómetro.

Por su parte, del resto de operaciones cabe destacar:

- En el caso de México, el sistema tiene unos costes muy bajos y una tarifa muy baja, lo cual le permite atraer grandes volúmenes de pasajeros
- Sao Paulo, a pesar de experimentar costes y tarifas elevados, consigue atraer muchos pasajeros debido a su buena distribución espacial y al servicio ofertado, con un nivel de cobertura alto
- La experiencia de París representaría la media de todos los sistemas. Se puede decir que no es muy eficiente, pero tampoco ineficiente
- Finalmente, la explotación de los servicios operados por Metro de Madrid tiene unas tarifas bajas, lo que le permite captar un gran número de pasajeros

9.2.2 Debilidades

Del análisis financiero realizado de las diferentes explotaciones estudiadas, cabe destacar las siguientes debilidades o puntos en que su desempeño es negativo:

- El sistema de Londres es ineficiente en costes, principalmente en los relacionados con mantenimiento de la infraestructura. Esto obliga a tener una tarifa muy elevada, concretamente la más elevada de todos los sistemas
- En el caso de París, la explotación de los servicios incurre en unos costes muy elevados de acuerdo con los estándares correspondientes a Sudamérica
- También se considera ineficiente el caso de México, con mucha indisponibilidad, lo que le lleva a un coeficiente de cobertura bajo (ayudado por las bajas tarifas)
- Finalmente, el sistema de Madrid tiene ineficiencias en los costes de operación y mantenimiento, lo que le penaliza su coeficiente de cobertura

10 EJE 9: ACCIONES EN BRANDING, COMUNICACIÓN Y MARKETING

Finalmente, el último eje de análisis planteado en la metodología de caracterización de experiencias metro internacionales para en el marco del producto 12 describe las diferentes políticas y acciones que cada una de las empresas o entes operadores de los sistemas emplean en relación a la marca que representan (branding), la comunicación con el usuario, y el marketing para la potenciación del uso del servicio ofertado.

10.1 Análisis comparado de las variables e indicadores relacionadas con las acciones en branding, comunicación y marketing en los sistemas de metro

Para el presente numeral, dadas las similitudes que existen en los aspectos de branding, comunicaciones y marketing que manejan las diferentes empresas operadoras de metro en las ciudades estudiadas, a continuación se presentarán de manera sintetizada las principales características de éstos aspectos en forma conjunta, y se expondrán por separado, de ser importante, aquellas particularidades que resultan relevantes de cada sistema de metro.

10.1.1 Branding

El branding corresponde al manejo y posicionamiento de la marca metro dentro del entorno local, nacional e internacional. En términos generales, son las características intrínsecas que hacen de la marca un concepto especial y diferenciado frente a otros sistemas de transporte. Es este sentido, cada empresa operadora de metro ha concebido desde sus inicios una imagen que ha vendido a sus usuarios, que identifica y representa los intereses de la misma, basándose en su visión, misión y objetivos como empresa comercial prestadora de un servicio social público.

De esta manera, los logotipos y eslóganes que identifican a las empresas se constituyen en un elemento fundamental para su promoción, alrededor del cual se producen todas las acciones de promoción, venta, e imagen corporativa. Este aspecto ha sido de gran importancia en todos los sistemas de transporte del mundo, ya que permiten marcar la diferencia con otros medio de transporte, incentivando el uso de un determinado modo.

Dentro de las acciones emprendidas por todas las empresas operadoras de metro en las ciudades estudiadas, se resaltan los siguientes:

- Organización y asistencia a encuentros, seminarios y conferencias con otros operadores de metro a nivel nacional e internacional, así como en temas relacionados con transporte público
- Vinculación a organizaciones internacionales que agrupan sistemas de metro, tales como Alamys, Nova Group, Comet, la UITP entre otros.
- Apoyo en la planeación, implementación y operación de otros sistemas de metro en el mundo. En este aspecto, es importante mencionar que el aporte del “know how” a empresas de metro recientemente creadas ha impulsado aún más la imagen y marca de varias de las empresas de metro aquí estudiadas.
- Invitación a comitivas internacionales a conocer las bondades y el funcionamiento de los sistemas de metro

Para el caso de Ciudad de México, el STC Metro dispone de un logotipo corporativo que pretende reflejar diferentes conceptos como limpieza, fuerza, movimiento y rapidez, aspectos directamente ligados al sistema de transporte, y que la empresa ha querido reflejar desde sus inicios.

Figura 10-1. Logo del metro de Ciudad de México



Fuente: STC Metro

El metro de Londres es un caso excepcionalmente conocido a nivel mundial, ya que su logotipo ha alcanzado una dimensión tal que es reproducido en camisetas, vasos, cortinas, etc. En él se lee la palabra Underground, y además de ser usado en los accesorios anteriormente mencionados, ha sido lugar para la filmación de películas, comerciales, y otros tipos de multimedia internacional y nacional.

Figura 10-2. Logo del metro de Londres



Fuente: TFL

En el caso particular del metro de París, la Régie Autonome des Transports Parisiens, operador del metro, promueve el eslogan “*aimer la ville*” (amar la ciudad), a partir del cual intenta promocionar la asociación del transporte público con una manera de mejorar el trato que los residentes dan a su ciudad con una clara vocación de fomentar su uso. El logotipo es el mismo que utilizan los otros modos de transporte público de la ciudad operados por la RATP, con la única diferencia que éste viene acompañado de la letra “M”, por lo que no hay una identificación diferencial con el metro.

Figura 10-3. Logo del metro de París



Fuente: RATP

En el caso de la ciudad de São Paulo, la empresa CMSP promueve su marca de metro con el objeto de que ésta sea asociada de forma implícita a conceptos particulares como son “sostenibilidad”, “confort”, “modernismo”, y “tecnología” entre otros. El eslogan utilizado por la CMSP para promocionar y dar una imagen al sistema de metro de São Paulo es el siguiente: El Metro de São Paulo... Un Nuevo Camino.

Figura 10-4. Logo del metro de São Paulo



Fuente: CMSP

El metro de Madrid ha apostado por relacionar sus actividades de branding con los conceptos de modernidad, la vanguardia tecnológica, y la seguridad en la operación. De esta manera, se pretende dar a sus usuarios un nivel de calidad superior en el servicio, persiguiendo la meta de convertirse en una opción de transporte público económica, social y con vocación medioambiental.

Figura 10-5. Logo del metro de Madrid



Fuente: Metro de Madrid

Para el caso concreto de metro de Santiago, la marca Metro S.A. pretende reflejar eficiencia y buenas relaciones con la comunidad. De igual manera, a través de su logotipo trata de transmitir una imagen, no sólo de una empresa de transporte público, sino de una empresa corporativa, con un manejo ordenado y consiente de las necesidades a suplir a sus usuarios.

Figura 10-6. Logo del metro de Santiago de Chile



Fuente: Metro S.A

10.1.2 Comunicación

Los procesos y acciones de comunicación en todo sistema de transporte público son determinantes para la difusión de los servicios y novedades en el mismo. La comunicación en un sistema de transporte se refiere básicamente a las herramientas de gestión que se disponen para facilitar la interlocución entre el usuario del servicio y la empresa operadora del mismo. En este sentido, dada la coyuntura global que enmarca hoy en día el tema de tecnologías de comunicación a nivel global, los sistemas de metro han evolucionado paulatinamente en la manera de como comunican a sus usuarios los diferentes servicios que prestan, imponiendo nuevas prestaciones a los usuarios que a la vez se constituyen en nuevos retos para mejorar los mismos.

Así las cosas, mientras hasta hace unos años las comunicaciones se basaban en la difusión de folletos y pancartas en las estaciones y coches del sistema, y en menor medida a través de medios radiales o

televisivos, hoy en día el uso adicional de portales web ha marcado un cambio radical en las estrategias para llevar de manera más rápida y completa la información al usuario.

En todos los casos estudiados, las herramientas puestas a disposición de los usuarios para promover la comunicación con el operador se basan en:

- Portales web: como se ha mencionado anteriormente, los portales web de las empresas de metro de las ciudades estudiadas congregan una serie de funciones que permiten al usuario estar al tanto de las novedades que ocurren en la operación habitual del metro. A pesar de ser unas más sofisticadas que otras, en general los servicios que ofrecen los portales web de las empresas se pueden resumir en:
 - Planificación de viajes en la red
 - Consulta de planos de la red, así como de horarios de cierre y apertura
 - Información sobre el estado de operación de las líneas
 - Información de servicios y equipamientos de las estaciones
 - Consultas sobre trabajos de reparación y/o cierre temporal de alguna línea
 - Consultas acerca de actividades culturales patrocinadas por la empresa operadora
 - Información institucional y corporativa, tales como informes de gestión, informes operacionales e informes financieros
 - Consultas y descargas de licitaciones públicas
 - Ingreso de sugerencias y reclamos
 - Realización de encuestas de opinión

En casos como el de Santiago de Chile y Ciudad de México, la planificación del viaje sólo incluye el modo metro. Si el viaje incluye el transbordo a otros modos, se debe navegar a otras páginas en donde esta información es suministrada.

Cabe destacar que en los sistemas de metro de Londres, São Paulo y París, se ofrece igualmente el servicio de información al teléfono móvil del usuario. Bajo este esquema, los usuarios pueden tener acceso a los itinerarios de los trenes, así como a los planos de los entornos de las estaciones. Igualmente puede hacer la planeación de su viaje mediante el envío de un mensaje de texto.

- Folletos: periódicamente, y dependiendo de las necesidades que se tengan de comunicar alguna circunstancia especial o concreta, las empresas de metro reparten en las estaciones volantes o folletos informativos en grandes cantidades. Dichos folletos o volantes pueden tener como fin informar acerca de algún cambio en los servicios, anunciar eventos culturales o deportivos, o recomendaciones para el uso apropiado del sistema
- Revistas/magazines: es usual que los operadores de los sistemas de metro distribuyan gratuitamente pequeñas revistas con información resumida de la gestión que están llevando a

cabo para mejorar el servicio, así como para notificar a los usuarios de próximos eventos culturales, sociales, técnicos y deportivos asociados al metro

- **Megafonía:** estaciones y coches de las redes estudiadas complementan sus servicios de comunicación al usuario mediante el servicio de megafonía. En las estaciones, el servicio informa a los pasajeros apostados en las plataformas de espera sobre la llegada de los trenes, mientras que en los coches el servicio informa sobre las próximas paradas programadas. En los dos casos, adicionalmente se informa sobre situaciones inusuales que pueden afectar la seguridad física del usuario, así como recomendaciones para un mejor uso de la infraestructura
- **Señalización:** parte fundamental en la adecuada operación de un sistema de metro es la señalización que se brinda a los usuarios en las estaciones. La señalización observada en los diferentes sistemas estudiados se compone de una señalización horizontal (marcas y flechas en el piso, y señalización para personas invidentes), así como la señalización vertical. Esta última se compone de señales y letreros indicativos que dan una mejor orientación a los usuarios. Los letreros indicativos pueden ser avisos pegados en las paredes o columnas de las estaciones, como también pueden ser pantallas digitales con información dinámica de los servicios de la estación, tales como tiempo estimado para la llegada y salida de los trenes, y novedades en el servicio

Como herramientas adicionales de soporte al servicio que se presta a los usuarios, los sistemas de metro de las ciudades estudiadas disponen de una cierta cantidad de puntos de atención al usuario, en donde se puede acudir para presentar una queja, reclamo o sugerencia acerca del servicio. En estos centros de atención también se efectúan tareas para dar solución a cierto tipo de problemas relacionados con las tarjetas, o en caso de emergencia.

Igualmente, los sistemas de metro estudiados cuentan con líneas gratuitas al público, en donde se pueden realizar consultas, y formalizar reclamos o sugerencias en el caso de Londres, la compañía Tube Lines, concesionaria de las líneas de Jubilee, Northern y Piccadilly, tiene sus propios mecanismos de atención al usuario; estos son, igual que en el caso de London Underground, la consulta telefónica y la consulta vía correo electrónico.

10.1.3 Marketing

En relación al marketing, éste hace referencia a las políticas y acciones que se desarrollan por parte del operador del sistema metro para fomentar e incentivar el uso de los servicios ofertados. En otras palabras, son acciones que tiene por objeto promocionar el sistema masivamente para incrementar la participación modal de transporte en el mercado.

En este sentido, las acciones que comúnmente realizan las empresas de metro estudiadas, se focalizan en:

- **Promoción y patrocinio de actos culturales, sociales y deportivos:** esta es una de las formas más utilizadas por las Direcciones de marketing o equivalentes para difundir y promocionar el uso del metro. Al crear nuevos espacios de esparcimiento, recreación y ocio, se generan igualmente nuevas necesidades de transporte en la población. Si a esto se añade que estos espacios de esparcimiento, ocio y recreación están directamente fomentados por el metro y en los espacios del metro, generalmente, la demanda por los servicios de metro aumentan, beneficiándose no sólo el metro como tal por su actividad comercial de naturaleza, sino también los usuarios, al tener una mayor diversificación en la oferta cultural

- En la misma línea de ideas que el punto anterior, en casos como el metro de Santiago y São Paulo, se han implementado dentro las instalaciones del metro, pequeñas bibliotecas pertenecientes a las redes públicas de bibliotecas. De nuevo, mediante esta forma de marketing, el metro busca generar nuevas necesidades de viaje en la población directamente asociadas a un modo de transporte: el metro
- Visitas organizadas: la programación de visitas organizadas a las instalaciones del metro también forman parte de las herramientas utilizadas para fomentar la cultura de utilización del metro en varias ciudades
- Publicidad: la realización de campañas publicitarias en diferentes medios es quizás la herramienta más potente que existe para la difusión de los sistemas de metro, aunque sus costos limitan su utilización. Publicidad en forma de folletos, en revistas, periódicos, radio, televisión e internet, son algunos de los medios de difusión más usados por las agencias de publicidad de los metros para lograr una mayor participación en el reparto modal del transporte en las ciudades.

En casos particulares como el metro de Londres, el cual tiene una imagen mundialmente conocida, la venta de objetos, tales como camisas, relojes, tazas, bolígrafos, monederos, libros, entre otros, relacionados con el sistema, también constituyen una importante fuente de difusión, no solo a nivel local, sino mundial

10.2 Fortalezas y debilidades asociadas a las acciones en branding, comunicación y marketing de los sistemas metro analizados

A continuación se realiza la identificación de fortalezas y debilidades asociadas a los sistemas de metro estudiados referentes a acciones en branding, comunicación y marketing.

10.2.1 Fortalezas

En relación a las fortalezas, se debe destacar en primer lugar, el refuerzo de marca que aporta la consideración de un logo asociado a la empresa operadora del sistema mejorando la visión del usuario.

Asimismo, debido a la elevada señalización e información facilitada por el ente operador, el usuario puede realizar su recorrido con mucha facilidad.

Además, la gran cantidad de mecanismos de comunicación existentes entre el operador y los usuarios facilita de manera destacable el trasvase de información entre ambos posibilitando la mejora del servicio por parte del organismo a partir de las sugerencias de los viajeros.

Finalmente, en un aspecto más relacionado con el marketing, los sistemas metro analizados han coincidido todos en la realización de actos promocionales en los que se promovía tanto la cultura como la solidaridad.

10.2.2 Debilidades

Referente a las debilidades, únicamente cabe destacar el problema que puede suponer la necesidad de operar un amplio conjunto de mecanismos de comunicación entre el operador y el usuario (teléfono de atención, internet, atención personalizada, teléfono móvil, sugerencias, quejas, etc.).

11 LECCIONES APRENDIDAS PARA EL DESARROLLO DEL METRO DE BOGOTÁ

Este último capítulo tiene por objeto recoger una serie de recomendaciones y lecciones aprendidas derivadas del estudio de las experiencias metro internacionales realizado por el Grupo Consultor, con el objetivo de aportar un análisis final de valor agregado a la caracterización y análisis comparado objeto del Producto 12.

En concreto, el presente numeral recoge de forma sintética, bajo la estructura de los 9 ejes de estudio considerados, aquellos aspectos que el Grupo Consultor considera de relevancia y susceptibles de ser considerados en el proceso de diseño y concepción del sistema de transporte masivo tipo metro que se pretende implementar en la ciudad de Bogotá.

Eje 1 – Caracterización física e infraestructural

En términos de red, las diferentes experiencias estudiadas demuestran un claro patrón o proceso de articulación de una red de una estructura en el tiempo. Redes como las de Madrid, París o Londres, con alrededor de un siglo de antigüedad, son estructuras altamente consolidadas, con muchas líneas desarrolladas, y en consecuencia, con una mayor cobertura espacial. No obstante, la densidad espacial de cobertura, cobertura de estaciones frente a la superficie urbana en que se implanta la red, depende de la estructura urbana de la ciudad. En ciudades de urbanización extensiva (por ejemplo Londres) y no concentrada (como es el caso de Madrid), dicho valor de densidad es menor, dado que la mancha urbana en que se ubica la red de metro es más amplia, y en consecuencia, menos cubierta.

El desarrollo de estas redes consolidadas ha seguido un patrón relativamente paralelo, consistente en una estructuración de un núcleo central mallado en el centro ciudad, y una posterior expansión contemporánea hacia la periferia, mediante extensiones de línea y apertura de nuevos corredores (en el caso de París con el sistema RER), sirviendo a zonas menos densamente pobladas y conurbadas.

En cuanto a la velocidad de desarrollo de la infraestructura, los casos de Ciudad de México y Madrid deben ser experiencias clave para Bogotá dado su elevada velocidad de construcción; en este sentido, debe tomarse como referencia la estructura en que los proyectos fueron desarrollados, y que aspectos y factores han hecho que su tramitación y ejecución se realizara con una elevada celeridad y agilidad.

Por otro lado, en relación a la tipología estructural en que desarrollar la infraestructura del metro, es recomendable la ejecución mediante sistema subterráneo en aquellos corredores que discurran por zonas de alta densidad urbana, siempre y cuando las características geomorfológicas así como los condicionantes económicos derivados así permitan. Por su parte, la adopción de sistemas abiertos en superficie o en viaducto son opciones más adecuadas en las áreas de la ciudad de menor densidad, ya que su inserción en el continuo urbano incurre en menores dificultades.

Asimismo, la definición del trazado de las diferentes líneas vendrá condicionada por las características de la ciudad de Bogotá así como por el recorrido de los corredores metro definidos de acuerdo a los requerimientos de demanda estimados, si bien cabe destacar que las redes más contemporáneas, así como los nuevos desarrollos llevados a cabo en las más consolidadas, buscan parámetros de diseño generosos en cuanto a radios de giro mínimos y pendientes (no inferiores a 100 metros y no superiores al 4% respectivamente).

Cabe destacar ciertos parámetros de la supraestructura férrea que tienen implicación directa en las tareas de mantenimiento de la propia infraestructura. Es el caso de la configuración de la estructura de

soporte de la vía, sobre balasto y traviesas o sobre hormigón o losa flotante, elemento determinante en el diseño del metro, derivándose de su elección diferentes necesidades de mantenimiento. Por su parte, en cuanto a la elección de carril, de toma de corriente o de catenaria rígida o convencional, es otro aspecto que exigirá más o menos horas de mantenimiento y mayor o menor posibilidad de traslado nocturno de los equipos.

Otro aspecto a destacar es la funcionalidad del nuevo sistema metro con los diferentes sistemas de transporte que dan servicio a la movilidad de Bogotá. De las experiencias estudiadas, se ha identificado como la articulación de un sistema metro con un elevado grado de intermodalidad con el resto de sistemas de transporte de la ciudad permite a la red actuar como eje estructurante de movilidad, empleándose los otros sistemas como elementos complementarios a partir del cual se retroalimenta (y viceversa).

A parte de la infraestructura asociada a la operación del sistema, el desarrollo de una red de metro supone la implementación de otras infraestructuras para su operación dedicadas a las tareas de mantenimiento y estacionamiento del material móvil, talleres y cocheras. En este sentido, es importante planificar su localización para que esta se realice en lugares estratégicos, de forma que permitan reducir su número sin necesidad de aumentar los recorridos en vía muerta (por ejemplo, ubicación en zonas cercanas a paradas de interconexión). También, en términos de mantenimiento, cabe destacar que las instalaciones fijas a mantener (pozos de bombas, ventilaciones, cuartos técnicos) deberán ser accesibles desde el exterior para no interrumpir el servicio durante la realización de estas tareas. Por otro lado, el peso por metro lineal del carril que sea escogido, que implica el perfil del propio carril y la calidad del acero, marcará las frecuencias necesarias de mantenimiento o de cambio de carriles, que junto a los parámetros de servicio o número de despachos, indicará los ejes por hora o toneladas por hora, que es otro parámetro básico para conocer las necesidades de mantenimiento o reposición.

Finalmente, en cuanto a la capacidad de los servicios ofertados, para poder configurar la composición de los coches se debe considerar la demanda del sistema para de este modo, poder satisfacer las necesidades de los usuarios a la vez que se optimizan los recursos disponibles. Es importante adaptar la longitud y composición de los convoyes a la demanda con el propósito de optimizar los recursos disponibles, tal y como se realiza en la red de Santiago de Chile.

Eje 2 – Análisis operacional

En todas las redes se ha ajustado en el transcurso del tiempo, las horas de servicio diario. Estos ajustes se han realizado normalmente como resultado de la exigencia de la vida social de la ciudad y su dinámica. En algunos casos excepcionales, como celebraciones de la ciudad (fiestas mayores, olimpiadas, inauguraciones, conciertos masivos, etc.), el servicio de metro se extiende por varias horas para poder suplir las necesidades de movilidad de los usuarios a estos eventos. De igual manera, el servicio diario se ha ido prolongando por la mañana (apertura) y por la noche (cierres), según ha ido demandando los requerimientos de la sociedad, y de acuerdo a las posibilidades de los operadores.

La mayor cantidad de horas de servicio ha obligado a los operadores de metro a reorganizar el mantenimiento del material móvil y la infraestructura en cuanto a número de equipos, recursos mecánicos y humanos y a tomar en consideración estas circunstancias desde el proyecto de la línea.

Las limitaciones de recursos, y en consecuencia la mayor necesidad de tener una alta eficiencia en el sistema, puede llegar a afectar de manera considerable la calidad del servicio en la red de metro. En tal sentido, es importante llegar a un balance operacional, en donde se ofrezca un óptimo nivel de oferta de servicios, pero a la vez un nivel de calidad adecuado para los usuarios, tanto en la infraestructura (estaciones), como en el material rodante. Como complemento a lo anterior, vale la pena mencionar que,

el trazado de las líneas debe guiarse con base a aspectos netamente de demanda, es decir, debe dirigirse a las áreas de la ciudad con mayor potencial de demanda por el servicio. De esta manera, se garantiza que el servicio va a tener una demanda acorde con este tipo de transporte, y por lo tanto su solvencia económica no se va a ver comprometida.

En los casos europeos se toma como estándar general que las frecuencias y longitud de los trenes deberán ser suficientes para no superar los cuatro viajeros por metro cuadrado de ocupación como máximo. Sin embargo, en los sistemas de metro latinoamericanos, este parámetro puede subir a seis e incluso siete pasajeros por metro cuadrado, con lo cual, como ya se mencionó anteriormente, la calidad y percepción del servicio se ve afectada. En las horas de baja demanda es importante dar un servicio cómodo a los pasajeros, pero que no implique un intervalo de paso muy alto, ya que esto podría influir directamente sobre la decisión de un potencial viajero a tomar el servicio de metro, u otro modo de transporte.

Los sistemas de protección (ATP) y de automatización de la conducción (ATO) deben proyectarse según las exigencias de seguridad y de frecuencia. Con altas frecuencias de paso es conveniente la instalación del ATO, además de la protección ATP, para poder garantizar la seguridad e integridad de los usuarios y los equipos.

Las tecnologías de los sistemas de protección y automatización de la marcha están evolucionando hacia la interoperatividad (compatibilidad entre sistemas), y a la simplificación de los equipos usados (vía radio de alta seguridad), por lo que es importante definir claramente estos parámetros en los pliegos de condiciones de los sistemas de seguridad. De igual manera, es recomendable definir todas las características técnicas y adjuntar el contrato a la licitación pública. De esta manera se evita que los oferentes cambien y/o añadan elementos adicionales indispensables para la puesta en funcionamiento de los equipos, cuyo costo no estaba previsto, pero que era previsible.

La integración operacional y tarifaria con otros modos de transporte ha resultado definitiva en el aumento de la demanda de pasajeros de metro en diferentes ciudades estudiadas. Aunque en algunos casos se ha llevado a cabo este proceso de mejor manera que en otros, en todos los casos la demanda observada ha aumentado después de la puesta en marcha de dichas integraciones. En este sentido, es importante en el marco de la implementación de un sistema metro para Bogotá, la integración de la tarifa del metro con el sistema BRT (Transmilenio), la red de autobuses tradicionales, y el tren de cercanías, todos éstos amparados en el sistema integrado de transporte público (SITP), decretado recientemente por la Alcaldía Mayor de Bogotá, y de obligatorio cumplimiento.

Dicha integración operacional implica la concentración en un solo techo del control, regulación y monitoreo del conjunto de modos de transporte público que operan una ciudad, a fin de tener una visión de todo el sistema, y poder tomar decisiones acertadas y coordinadas para los diferentes modos de transporte, que son complementarios los unos a los otros. Esto implica la puesta en funcionamiento de un gran centro de control que integre los diferentes modos de transporte. A medida que la red, y por lo tanto las necesidades de control y monitoreo crecen, es posible que este gran centro de control se divida, y se generen centros de control independientes para un número determinado de líneas, pero coordinados entre ellos inequívocamente.

Aunque no es un punto exclusivo de la operación del metro, la implementación de un sistema integrado de transporte público debe realizarse de manera paulatina, coordinada y bien planeada, para evitar colapsos en la red de metro, como el registrado en Santiago de Chile. En este sentido, y teniendo en cuenta las similitudes entre los elementos del transporte público en las dos ciudades, es recomendable que la integración se dé por partes, ajustando en escala menores lo necesario, y mejorando, a medida que se va implementado en otros sitios. Es decir, si se llegase a detectar una falla o un mal

funcionamiento de algún elemento del servicio, es preferible que éste ocurra en una determinada zona, y no a escala general, donde su adecuación será más costosa y compleja.

Por otra parte, la calidad del servicio ofertado parte de enfocarse en el cliente atendiendo sus requisitos y expectativas. Por medio del análisis de diversos canales de relación con los usuarios son identificados sus principales requerimientos y posteriormente son atendidos sus sugerencias, reclamos y solicitudes.

En este sentido, los sistemas exitosos han incorporado de manera gradual procesos de Gestión de Calidad como “cultura” o “filosofía” de funcionamiento en sus distintas dependencias. En este sentido, es destacable la implantación de los programas de Calidad Total en las compañías de Metro de Sao Paulo y Caracas. En el caso de Sao Paulo, en el año 2001 la Gerencia de Operaciones obtuvo la certificación de su Sistema de Gestión de Calidad para la Línea 1 – Azul con base en la norma NBR 9001:2000 y en el 2003 fueron certificadas otras tres líneas: Línea 2 – Verde, Línea 3 – Roja y Línea 5 – Lila.

Eje 3 – Análisis institucional y organizacional

Desde la perspectiva legal, las lecciones que el Grupo Consultor considera más relevantes a tener en cuenta para el modelo de articulación del sistema de metro de la ciudad de Bogotá se han clasificado en dos grupos, según se considere una fortaleza o una debilidad.

Respecto de las fortalezas:

- *“La existencia de una entidad con personalidad jurídica que gestione todos los modos de transporte en el ámbito territorial de referencia para el sistema de metro y en la que participen todas las Administraciones Públicas competentes, permite optimizar la coordinación de todos los agentes implicados en la ordenación del transporte público y en su financiación”*: en el caso de Bogotá, en el que no existe esta entidad, esta fortaleza es menos relevante dado que, en principio, la PLM tiene como fin facilitar la movilidad dentro del Distrito Capital. Ello no obstante, en la medida en que se pretenda una coordinación o conexión de la PLM con el Tren de Cercanías, resultaría positivo que el Distrito Capital y el Departamento de Cundinamarca constituyeran o participaran en un ente de naturaleza asociativa, que fuera el competente para gestionar y, por tanto, coordinar, ambos modos de transporte. Por otro lado, esta fortaleza también es positiva a efectos de coordinar los distintos modos de transporte. Para aprovecharla, resultaría recomendable configurar un modelo institucional en el que la PLM estuviera integrada en el SITP no sólo desde el punto de vista operacional sino también institucional (i.e. a través de un consorcio)
- *“La financiación por parte de la Administración Pública, con frecuencia estatal, es clave para la construcción de una red de metro, ello con independencia de que quien contrate su ejecución sea la propia Administración, la operadora pública de la red o un ente público creado al efecto”*: en el caso de Bogotá, esta fortaleza se estaría aprovechando dado que el Distrito Capital y, en principio, también la Nación, tienen intención de contribuir a la financiación de la construcción de la PLM, ello con independencia de cuál sea la entidad que contrate su ejecución (i.e. la sociedad titular de la PLM, el IDU, etc.)
- *“La existencia de un único operador suele facilitar la operación y mantenimiento cuando se trata de una red de metro y el carácter público del operador permite articular la subvención directa en los casos en los que esta actividad es deficitaria como suele ocurrir en este sistema de transporte”*: en el caso de Bogotá, esta fortaleza es menos relevante dado que no existe una red de metro sino que se pretende ejecutar una primera línea y minimizar la financiación pública de la operación y del mantenimiento

Respecto de las debilidades:

- *“La ausencia de una entidad con personalidad jurídica en la que participen todas las Administraciones competentes para la planificación y gestión del transporte público en el ámbito territorial de referencia para el sistema de metro, dificulta la integración de los distintos modos de transporte (i.e. autobuses urbanos e interurbanos, tren de cercanías, etc.)”*: en el caso de Bogotá, en el que no existe esta entidad, podría mitigarse la debilidad detectada mediante mecanismos que permitan la coordinación e integración de los distintos modos de transporte (i.e. convenios interadministrativos) mientras que se consigue el consenso necesario para crear la citada entidad
- *“La falta de coordinación en la planificación y en la programación de los distintos modos de transporte impacta negativamente en la óptima prestación del servicio público de transporte a través del sistema de metro”*: en el caso de Bogotá, sería recomendable que los mecanismos de coordinación entre los distintos modos de transporte se centren en su planificación y programación a fin de optimizar la prestación de este servicio público
- *“La participación del sector privado en la construcción, operación y financiación del sistema bajo modelos de colaboración público-privada ha sido muy residual hasta el momento”*: en el caso de Bogotá, los modelos de colaboración público-privada ya están siendo objeto de estudio para la PLM

Adicionalmente, mencionar que el régimen jurídico depende, principalmente, de las restricciones para la inversión pública. Cuando la deuda pública no tiene posibilidad de asumir la inversión de infraestructuras, se recurre a la iniciativa privada, que hacen posible la inversión, asumiendo los riesgos e incrementando el coste de esa inversión como consecuencia de los riesgos contraídos.

Se encuentran, en la actualidad, numerosos casos de concesiones a empresas privadas, que una vez hecha la inversión, se les concede la explotación y mantenimiento durante un período de años determinado. En este período de concesión, las empresas cubren los gastos de mantenimiento y recuperan la inversión y el valor del riesgo con los acuerdos de costo de servicio efectuados con las administraciones.

El ratio significativo de personal necesario por kilómetro de red tiene unas diferencias muy elevadas comparando las diferentes redes, desde 25.25 hasta 127.46. Esta diferencia no es debida sólo a la eficiencia del sistema de explotación o del grado de automatismo en la conducción o en la venta de billetes y atención de estaciones. Deberá tenerse presente la coherencia de cifras, teniendo en cuenta las subcontrataciones de mantenimiento, limpieza y seguridad, que forman parte de la cuenta de resultados en partidas de personal o de contratación exterior.

Desde el punto de vista de la autonomía en el proceso de planeación del sistema, en el análisis comparado entre las diversas instituciones encargadas de la gestión, implantación y operación de los sistemas metro analizados, se constata la importancia que se ha dado a la autonomía de los entes en sus procesos de planeación de los sistemas, a partir de la institucionalización del ente, la despolitización de sus intervenciones – ambos a partir de una adecuada estrategia comunicacional –, el debido acompañamiento con las agencias encargadas del planeamiento de la ciudad y la continuidad administrativa de los planes desarrollados.

En la totalidad de los casos en estudio, la continuidad de políticas acertadas permitió la conclusión de las obras y/o proyectos. En la mayoría de los casos los gestores que dieron arranque a la implantación del sistema no pudieron concluir con su arranque y le tocó a su sucesor continuar con las intervenciones

previstas, dado el valor institucional dado al sistema creado. Ejemplo de ello puede verse en la implantación continua del sistema Transmilenio desde su creación.

En términos de estructura laboral, en la explotación de un sistema metro existen puestos de trabajo con un papel determinante, en los que es imprescindible una formación previa del empleado por parte de la empresa o ente explotador (por ejemplo los conductores), acorde con el servicio que se pretende prestar, disponiéndose así de un cuerpo técnico calificado.

El nivel de especialización requerido en la operación de los sistemas metro ha determinado la importancia de contar con personal especializado y debidamente entrenado para las labores de operación y mantenimiento de los sistemas. En este sentido, el sistema de selección de personal y el establecimiento a detalle de los manuales de cargo son labores fundamentales a llevar a cabo.

La primera fase del proyecto convendrá se destine a diseñar y ejecutar un plan de capacitación para el personal del metro, en especial para los trabajadores que se desenvuelvan en las áreas de mantenimiento, operación, inspección y fiscalización del sistema ferroviario. El entrenamiento al personal deberá pasar por estudiar y familiarizarse con la red de transporte y tener una instrucción teórica y práctica. En algunas experiencias se han desarrollado simuladores que recrean las condiciones reales que presentan las líneas del sistema, la circulación de los trenes, la señalización y las maniobras del material rodante.

Asimismo, los alumnos son preparados en diversos campos como: servicio de calidad, manejo de estrés y desarrollo humano, rubros que permiten tener una actitud positiva en las labores que desempeñan.

Eje 4 – Análisis normativo y contractual

Los aspectos que el Grupo Consultor considera más relevantes a tener en cuenta en el momento de articular el marco normativo y contractual del sistema de metro de la ciudad de Bogotá se han clasificado en dos grupos, según se considere una fortaleza o una debilidad.

Respecto de las fortalezas:

- *“La ausencia de limitaciones legales a que exista un operador público ha permitido la operación integrada y eficiente de la red de metro por parte de éste”*: esta fortaleza se ve mitigada en el caso de Bogotá dado que el actual objetivo es construir una primera línea de metro con un tamaño que permita su explotación al término de la obra, sin ser necesario el desarrollo de la red de forma inminente
- *“La ausencia de limitaciones legales a que la tarifa de usuario esté subvencionada ha permitido optimizar la prestación del servicio público y, por tanto, fomentar el uso de este medio de transporte”*: en el caso de Bogotá, sería recomendable que el sistema tarifario fuera flexible de forma que la autosostenibilidad del transporte público sea un objetivo compatible con una subvención al sistema de metro justificada por la necesidad de alcanzar estándares mínimos de seguridad y calidad
- *“La flexibilidad normativa en la fijación de las tarifas de usuario permite al sector público ajustarlas en cada momento a los cambios en la realidad económica y social y en las necesidades del propio sistema de metro”*: en el caso de Bogotá, sería recomendable promover esta misma flexibilidad normativa

Respecto de las debilidades:

- *“La ausencia de limitaciones legales a que la tarifa de usuario esté subvencionada puede desincentivar la máxima racionalización de las inversiones y la búsqueda de mecanismos adicionales de financiación del sistema de metro”*: en el caso de Bogotá, la normativa es restrictiva respecto de la subvención a la tarifa de usuario en el marco del SITP, por lo que ya existirían limitaciones para mitigar la debilidad detectada en las experiencias internacionales
- *“La regulación del cobro de plusvalías generadas por el sistema de metro y su empleo es residual por lo que, con carácter general, no ha tenido un impacto significativo en la financiación del sistema”*: en el caso de Bogotá, si bien existe cierta regulación del cobro de plusvalías por la realización de infraestructuras públicas, en la práctica su uso ha sido residual. Por tanto, el empleo de este mecanismo se concibe, en principio y en su caso, como complementario para la financiación del proyecto
- *“El empleo de modelos de CPP es residual, lo que priva al sector público de la capacidad técnica y financiera que podría aportar el sector privado”*: en el caso de Bogotá, al hilo de esta consultoría han de estudiarse modelos de CPP para la ejecución de la PLM, por lo que esta debilidad estaría mitigada

Eje 5 – Análisis del impacto urbanístico

La puesta en funcionamiento de un sistema masivo de transporte público como el metro debe concebirse no solo como una solución de transporte ofrecida a unas áreas determinadas, sino que puede ser la base para el desarrollo y reactivación de una determinada zona, en donde las áreas atendidas por el metro deberán estar enmarcadas en un plan de densificación, reactivación comercial, residencial y de negocios, y de renovación urbana. Todos estos elementos, articulados y balanceados entre sí, ayudan a garantizar el éxito de un sistema de metro, a la vez que estas zonas se vuelven más atractivas para la gente, y por ende generan una mayor necesidad de transporte, constituyéndose el metro un modo rápido, económico, seguro y de alta calidad. No obstante, una intervención o implantación del sistema metro en una zona poco desarrollada no asegura por sí misma la urbanización del área afectada.

Una vez asegurado un modelo de planeación urbano asociado al metro, es importante contextualizarlo a las condiciones puntuales de cada zona de la ciudad, y en particular para cada estación. Sin importar si la infraestructura es subterránea, elevada o en superficie, es importante hacer un cuidadoso estudio del tejido y entorno urbano en que se inserta cada estación, para poder comprender la situación, y por lo tanto, presentar propuestas y soluciones adecuadas a la zona de implantación. Al darle un valor agregado a la zona por su entorno urbano, y por la generación de nuevos espacios, se genera una motivación e incentivo para invertir en locales o predios en la zona, con lo cual los beneficios generales, debidos a la valorización predial, se incrementan.

En casos específicos, y bajo requerimientos especiales, las estaciones de metro se constituyen en centros de actividades económicas, comerciales y sociales de alta dinámica. Aisladamente, esta situación se ha puesto en funcionamiento en algunos portales del actual sistema TransMilenio con los CADEs; sin embargo, el enfoque dado en los metros de otras partes del mundo a estos centros, es atender unas necesidades más comerciales, y no de servicios.

También cabe destacar que existen experiencias interesantes de reciente data como la desarrollada por Metro de Sao Paulo, en la utilización de terrenos de su propiedad para desarrollos inmobiliarios. Áreas residuales propiedad de Metro de Sao Paulo producto de expropiaciones requeridas para la construcción

del sistema, áreas de ubicación de material o de equipo de construcción, las propias estaciones o áreas de integración del sistema, permitieron crear un programa de desarrollo inmobiliario asociado al sistema.

En el caso de las estaciones y áreas de integración se logró el desarrollo de importantes centros comerciales que permitieron además de la obtención de una renta económica para el sistema el incremento de pasajeros. Según estimaciones de Metro de Sao Paulo en varios de estos centros comerciales se logró un aumento en la demanda de los pasajeros atendidos en hasta un 25%.

Los terrenos son cedidos por concesión a 30 años y la CMSP recibe ingresos por la explotación del desarrollo inmobiliario. El promotor privado se le obliga además a contemplar áreas de estacionamiento, integración con el servicio de transporte colectivo superficial y el acceso a las estaciones de Metro desde las instalaciones del establecimiento comercial. Luego del período de concesión el inmueble forma parte del patrimonio de la CMSP y lo administrará de la forma más conveniente, incluyendo la prórroga de la concesión.

Los ingresos devengados por este concepto representan en el caso de Sao Paulo, cerca de un 20 de los ingresos no vinculados a la venta de boletos.

Eje 6 – Análisis del impacto ambiental

Resulta indispensable que el proyecto de desarrollo de una red de metro en la ciudad de Bogotá establezca, desde un principio, una política de gestión ambiental clara, que describa los lineamientos básicos y estratégicos a seguir en materia medioambiental. Esto incluye la formulación de una visión, misión, objetivos, acciones a seguir, criterios, e indicadores de monitoreo, entre otros.

Como aspecto diferencial en términos ambientales, conviene resaltar el reducido costo energético para el transporte de los pasajeros que supone la implantación de un sistema metro. En el marco de las acciones y políticas enfocadas a una mayor eficiencia energética, el uso de energías renovables constituye una de las principales herramientas para este fin. En tal sentido, y teniendo en cuenta que cerca del 77% de la generación de energía eléctrica en Colombia proviene de hidroeléctricas, se deben generar los procedimientos necesarios para que la alimentación del sistema de metro provenga de este tipo de energía. De esta forma, la eficiencia energética del sistema en su ciclo de vida tendrá un nivel elevado, logrando uno de los objetivos que persiguen la mayoría de sistemas de transporte masivo eléctricos.

La implementación del sistema de metro debe incluir todas aquellas medidas necesarias para mitigar los efectos nocivos producidos por el ruido resultante de la operación misma de los coches, y su interacción con la infraestructura vial. En este sentido, algunas de las medidas que ayudan a reducir los niveles de ruido para los usuarios del servicio son:

- Barreras de protección en los viaductos o tramos en superficie
- Colocación de materiales de absorción sonora en la vía, en aquellos tramos críticos como estaciones o zonas residenciales.
- Uso de materiales aislantes de ruido en los coches (disminuir ruido en el interior de los coches)
- Adecuado mantenimiento de los perfiles de la vía y la rueda

De igual manera se deben implementar programas de reciclaje de materiales residuales producidos y botados durante la construcción y operación del sistema metro, a fin de contribuir con el medio ambiente. En cuanto al manejo del agua residual que se genera por diferentes razones, se deben desarrollar

programas para recuperar y reciclar el agua, y de esta manera poderla utilizar en labores como la limpieza del material rodante o las instalaciones del mismo. En este aspecto, es importante resaltar que trabajos similares se llevan a cabo en los patios de TransMilenio, por lo que la continuación con estas políticas se constituye en un valor agregado para el proyecto.

En cuanto al impacto durante la ejecución de la infraestructura, cabe destacar que las zonas arcillosas con propiedades mecánicas bajas, suponen el uso de métodos constructivos de gran impacto urbano durante su construcción, perturbando gravemente la movilidad en las zonas de influencia, y afectando las actividades comerciales, sociales y culturales.

Eje 7 – Análisis del impacto socioeconómico

Hay que tener presente que un sistema de las características de una red de metro representa un eje de transporte de alta capacidad que, normalmente, es utilizado por un elevado porcentaje de población. La incidencia en la vida de la ciudad es muy importante y creciente, principalmente por la cantidad de desplazamientos que dicho sistema facilita y que desvía de otros medios más invasivos para la ciudad. En estas circunstancias, la falta de este transporte, por ejemplo, por alguna avería, incide negativamente en la vida cotidiana de sus usuarios y es destacado de forma inmediata por todos los medios de comunicación.

Se constata que una ciudad con servicio de metro como infraestructura del transporte tiene un coste visible aparentemente mayor, que si no existiera este servicio. No obstante, el alto rendimiento o beneficio social derivado de una inversión en un sistema de transporte masivo como es una red de metro, debido a la elevada movilidad que provee su servicio en su área de afectación, justifica sus elevados costos económicos. Un sistema de estas particularidades se caracteriza por experimentar un uso del mismo mayor en zonas con alta densificación. A tal efecto, se recomienda construir la red inicialmente por zonas con estas características para posibilitar un mayor aprovechamiento de los recursos destinados al servicio.

Por esta razón, se estructuran estudios sobre el balance social asociado a la implementación de este modo de transporte público masivo: coste versus utilidad social. En cada ciudad o agrupación urbana, pueden medirse las aportaciones positivas a la movilidad con respecto a los costes de infraestructura y operación, en los que se tienen en cuenta los beneficios medioambientales, operacionales y sociales. El balance social debe dar positivo, en cuanto ahorro, por existencia del sistema metro y su aportación en hacer más habitable y sostenible la ciudad.

Habitualmente se ha asociado las redes de metro como sistemas de movilidad dirigidos a la población de menores recursos, si bien está avanzando hacia la utilización por los ciudadanos de ingresos medios. Ha dejado de representar para la población el medio único de transporte, pasando a ser un modo sustitutivo del vehículo particular, para evitar los crecientes problemas de tráfico y aparcamientos, y ofrecer una mayor fiabilidad en los tiempos de desplazamiento. Por otro lado, es necesario competir en calidad con el transporte privado, por tener una población-cliente común en un segmento importante de la población.

El problema más importante, pendiente de resolver es el acceso hacia el centro de las ciudades desde las cercanías o entorno, que suele estar subdimensionado, y provoca el modelo de movilidad actual, con gran cantidad de vehículos particulares que acceden diariamente hacia el centro de la ciudad, ocasionando en la mayor parte de los casos problemas circulatorios graves a diario.

En el marco de las políticas gubernamentales, los lineamientos de promoción del transporte público exitosas han pasado por un balance acertado entre los incentivos al transporte público, desincentivos al

transporte privado y políticas gubernamentales que concilien los intereses entre los distintos agentes involucrados.

En los casos estudiados de Madrid y Londres se evidencia una política sostenida y sistemática de incentivos al transporte público y desincentivos al transporte privado en sus zonas metropolitanas en las que se destaca la zonificación.

Los sistemas de transporte público difícilmente competirán con el transporte privado cuando los términos de calidad y dotación no resulten atractivos en términos de frecuencia, tiempo, confort e información confiable a sus usuarios.

En los casos estudiados no existe una única agencia administrativa encargada de englobar la gestión total de los sistemas de transporte colectivo en las ciudades (infraestructura, transporte colectivo, planeamiento, tarifas, impuestos), razón por la cual resulta imprescindible una debida coordinación y conciliación entre los agentes involucrados en la materia para la eficiencia en la aplicación de las políticas gubernamentales.

Entre los incentivos a los sistemas de transporte colectivo se ubican: frecuencias del servicio, oferta de servicio nocturno, calidad del material rodante, velocidad, políticas de precios y descuentos, integración física y tarifaria entre distintos modos, sistemas de *parking-train*, estacionamientos gratuitos de bicicletas, etc.

Vale destacar entre los casos estudiados la incorporación de sistemas de información al usuario en estaciones y trenes permitiendo el monitoreo de los viajes y frecuencias. Asimismo, la incorporación de estacionamientos gratuitos en las afueras de la ciudad para carros y bicicletas, o bien cobrar una cantidad que incluya el costo del boleto del tren para acceder a las áreas centrales.

Por su parte en materia de desincentivos al vehículo privado se ubican: cobro de estacionamiento en las calles, sistemas de tarifas de estacionamientos en áreas centrales, restricciones de velocidad y circulación de los vehículos, construcción de ciclorutas y zonas peatonales.

En resumen, algunas de las medidas gubernamentales con mayor recurrencia son los impuestos de tenencia y/o propiedad vehicular, las eficientes sistemas de multas de tránsito, el precio de la gasolina, las limitaciones a la circulación y la estricta revisión vehicular con control de emisiones, entre otras.

Todas estas políticas de incentivación son, a la larga, valoradas, y complementan los análisis socio-económicos, ya que directamente se está influyendo al usuario en su decisión de tomar o no un sistema de transporte público, en este caso el metro.

Otro de los aspectos identificados como relevantes de acuerdo a las experiencias analizadas, es la accesibilidad al sistema de personas con movilidad reducida (PMRs). Se recomienda adaptar el diseño de las estaciones del sistema metro a dichos usuarios, por la responsabilidad social que a un modo de transporte público se le asume. Además, la remodelación de los puntos de acceso a posteriori comporta un elevado costo económico, situación en que están incurriendo muchos de los sistemas antiguos que actualmente desarrollan planes de condicionamiento de sus estaciones.

En este sentido, a un metro de nueva creación deben aplicársele las normativas de accesibilidad más exigentes y compatibles con el medio, puesto que la legislación se hace progresivamente más favorable a la utilización de dicho sistema para toda la población, sin excepciones.

Asimismo, la integración del sistema metro con otros modos de transporte no motorizados como pueden ser las bicicletas complementan a dicho sistema, de por sí poco flexible, mejorándose el acceso al destino final por parte del usuario. El último tramo de recorrido es el más difícil de facilitar con la infraestructura metro, la cual requiere de éstos sistemas de alta elasticidad y bajo coste para completarse. Además, la adopción de un sistema de transporte no motorizado puede incentivar el uso del sistema metro debido a que permite aumentar el radio de influencia de las estaciones metro. Es el caso de la iniciativa desarrollada en la ciudad de París, con el sistema de bicicletas públicas Velib, desarrollo seguido por varias ciudades como Barcelona o Lyon, y en proyecto en muchas otras.

Eje 8 – Análisis financiero

A continuación se presentan aquellos aspectos o lecciones que del estudio de los diferentes sistemas analizados, el Grupo Consultor considera relevante destacar por su aporte en términos de estructuración financiera del contrato de explotación que se defina para el metro de Bogotá.

Caso	Características del contrato
Madrid - Boadilla	<p>i. Esquema de administración: La estructura de administración del sistema de transporte (Consortio Regional de Transportes) es un ejemplo exitoso de integración no sólo modal en términos de oferta de transporte público sino también en términos de administración de esquemas de subsidios cruzados, de asignación de funciones y responsabilidades y de involucramiento de municipios aledaños a la ciudad, que en el marco del SITP puede servir de referencia para la estructuración del esquema institucional a ser implementado en Bogotá.</p> <p>ii. Participación Privada. Se pudo vincular capital privado teniendo en cuenta un esquema de transferencia de riesgos orientado no a su transferencia total al privado, sino buscando un equilibrio que optimice los costos del proyecto:</p> <p>a. Remuneración al privado vía una tarifa técnica por usuario, pero acotando la transferencia del riesgo de demanda de forma tal que este pudiera alcanzar estructuras de apalancamiento eficientes reduciendo así el costo total del proyecto y por ende optimizando la tarifa técnica ofertada. Al respecto, consideramos que el mecanismo de bandas de reequilibrio es un mecanismo idóneo para involucrar privados en un proyecto como la PLM ya que permite no sólo acotar la posición en riesgo de los potenciales financiadores sino también acotar la volatilidad asociada con no tener altos niveles de certeza sobre los niveles de demanda (como sería en el caso de la PLM, contrario o lo que puede ser un proyecto como una concesión vial en la cual se cuenta con información histórica de tráfico)</p> <p>b. Transferencia total del riesgo de construcción al privado, pero bajo condiciones de certeza altas respecto de los costos asociados al mismo; entre otros, proceso de expropiación, licencias y permisos adelantados, diseños detallados y tipo constructivo con bajo riesgo geológico, tamaños de proyecto bajos, procesos de contratación de la construcción adelantados.</p> <p>Es relevante resaltar que esta estructura de PPP permitió al privado conseguir financiación de largo plazo al establecer una banda inferior adecuada (si bien para este caso fue a 27 años, en las condiciones actuales de mercado y teniendo en cuenta que Colombia no es un país desarrollado, los plazos a los que podría llegar un privado serían muy inferiores); por el contrario, otra concesión que se ofertó bajo el mismo esquema sobre una zona despoblada pero con alto potencial de urbanización (tren ligero a Navalcarnero) a la fecha ha sido incapaz de conseguir la financiación requerida, en cierta forma por que las condiciones de mercado cambiaron (las proyecciones de urbanización de la zona no se cumplieron), pero principalmente por que el concesionario no solicitó un</p>

Caso	Características del contrato
	<p>soporte de demanda (ofertó banda inferior de reequilibrio del 0%). De esta forma, la definición de un esquema de transferencia de riesgos al privado en desarrollo de la implementación de la PLM debe tener en cuenta que a menos que la volatilidad de la demanda pueda ser lo suficientemente acotada, no siempre transferir el 100% del riesgo al privado libera al público, en el sentido en que una concesión fallida puede traer sobrecostos que en ultimas deben ser absorbidos por este.</p> <p>Adicionalmente, es importante tener en cuenta que el tamaño de proyecto que se esté asignando a un privado es fundamental en el éxito del proceso de PPP, ya que entre mayor sea el tamaño, mayores serán los requerimientos en materia de capacidad patrimonial y por ende en riesgo asumido por este lo cual, específicamente para el caso de la PLM, complica la posibilidad de estructurar una concesión integral.</p>
México	<p>i. Participación Privada: Se le asignó al privado por cuenta y riesgo de este, por un lado las actividades de construcción y/o remodelación de las estaciones, y por otro las actividades de suministro de equipos y material móvil de la línea. Este esquema sería similar al que se estaría proponiendo de manera conceptual inicialmente para la PLM de Bogotá, con la diferencia que no se entregaría una concesión única sino dividida entre construcción, y operación mantenimiento y suministro de material móvil.</p> <p>ii. Riesgos: Desde la perspectiva de riesgos, esta experiencia presenta dos situaciones interesantes. La primera, está relacionada con el hecho de que fue factible transferirle al privado el riesgo de construcción para una parte de la infraestructura asociada con las estaciones, situación que se estaría pensando se podría estructurar para la PLM. La segunda, está relacionado con el hecho de que el riesgo de demanda pudo ser transferido al privado. No obstante lo anterior, el riesgo que esto le suponía al privado de cara a la consecución de la financiación estaba mitigado por el fondo de contingencia que se debía constituir para cubrir el servicio de la deuda contratada. En otras palabras, la transferencia del riesgo de demanda implicó la asunción por parte del privado del repago del capital propio invertido por este al proyecto, pero no de los recursos proveídos por las entidades financieras al mismo. Esta última situación plantea la necesidad de contar con mecanismos mitigantes al riesgo de demanda al menos para reducir el riesgo de obtención de la financiación por parte del privado para el desarrollo del proyecto en el caso de la PLM para Bogotá.</p>
Sao Paulo	<p>i. Esquema de administración. La estructura de administración del sistema de transporte aplicada en el Estado de Sao Paulo es un ejemplo exitoso de integración no sólo modal en términos de oferta de transporte público sino también en términos de administración de esquemas de subsidios cruzados, de asignación de funciones y responsabilidades y de involucramiento de municipios aledaños a la ciudad, que en el marco del SITP puede servir de referencia para la estructuración del esquema institucional a ser implementado en Bogotá.</p> <p>ii. Participación Privada. Desde la perspectiva de desarrollo del proyecto, específicamente para el caso de las concesiones asociadas a la Línea 4, se pudo vincular capital privado a las mismas, pero teniendo en cuenta un esquema de segregación y de transferencia de riesgos orientado no a su transferencia total a privado, sino buscando un equilibrio que optimice los costos del proyecto, principalmente mediante:</p> <p>a. Segmentación de la implementación del proyecto en un componente puramente de construcción de infraestructura y un componente de dotación del sistema y operación del mismo, permitiendo así obtener tamaños de proyecto adecuados para que un privado esté dispuesto a asumir un mayor nivel de riesgo y para que los financiadores</p>

Caso	Características del contrato
	<p>tengan mejores criterios de dimensionamiento del riesgo que están asumiendo (no es lo mismo un riesgo de construcción que un riesgo de demanda) lo que se deriva en una optimización del costo del proyecto para el concedente.</p> <p>b. Para el caso específico de la concesión de operación y mantenimiento remuneración al privado vía una tarifa por usuario pero establecida en el contrato (junto con la fórmula de ajuste) y no de libre definición por parte del concedente, eliminando así la necesidad de tener una tarifa técnica y una tarifa usuario diferentes.</p> <p>c. Acotación de la transferencia del riesgo de demanda de forma tal que el privado pueda alcanzar estructuras de apalancamiento eficiente reduciendo así el costo total del proyecto y por ende optimizando los potenciales subsidios y pagos al concesionario. Al respecto, consideramos que el mecanismo de bandas de reequilibrio es un mecanismo idóneo para involucrar privados en un proyecto como la PLM ya que permite no sólo acotar la posición en riesgo de los potenciales financiadores sino también acotar la volatilidad asociada con no tener altos niveles de certeza sobre los niveles de demanda (como sería en el caso de la PLM, contrario o lo que puede ser un proyecto como una concesión vial en la cual se cuenta con información histórica de tráfico)</p> <p>Es relevante resaltar que esta estructura de PPP (para el caso específico de la concesión de operación y mantenimiento) permitió al privado conseguir financiación de largo plazo al establecer una banda inferior adecuada y el establecer tiempos de duración de los esquemas de mitigación del riesgo demanda permiten establecer un equilibrio entre lo que es un “soporte” para la consecución de financiación y lo que podría llegar a ser una garantía de rentabilidad a los aportes de capital del concesionario, que va en contravía de la alineación de intereses que debe regular el cumplimiento de las obligaciones del concesionario.</p> <p>Como ya se ha mencionado en los análisis realizados a otras experiencias, es importante tener en cuenta que el tamaño de proyecto que se esté asignando a un privado es fundamental en el éxito del proceso de PPP, ya que entre mayor sea el tamaño, mayores serán los requerimientos en materia de capacidad patrimonial y por ende en riesgo asumido por este lo cual, específicamente para el caso de la PLM, complica la posibilidad de estructurar una concesión integral.</p>
<p>Santiago de Chile</p>	<p>i. Participación Privada: Desde la perspectiva de participación privada, la experiencia demuestra como el Metro de Santiago ha podido ser muy exitoso en el desarrollo de la infraestructura, y en la operación y mantenimiento del sistema, con una participación del privado limitada a la construcción de la infraestructura a través de contrato de obra pública. Adicionalmente, y bajo la figura de un contrato sólo de administración, le entregaron a un consorcio Francés, todo lo relacionado con la explotación de la publicidad en el sistema.</p> <p>Claro está, que el Metro de Santiago no se ha visto recientemente enfrentado a la necesidad de requerir la participación de privados, para efectos de buscar que las financiaciones requeridas no queden sus libros. Una fortaleza enorme que tiene el Metro de Santiago es que depende directamente del Gobierno Central y no de la ciudad, con lo cual tiene permanentemente un apoyo directo del estado para el desarrollo y expansión de su infraestructura.</p> <p>ii. Riesgos: El Metro de Santiago, salvo por los riesgos asociados a la construcción de la infraestructura, en donde se han vinculados privados, ha mantenido completamente las posibles contingencias derivadas de la operación y mantenimiento del sistema, buscando siempre mecanismos para mitigarlos. En relación al riesgo de construcción, se</p>

Caso	Características del contrato
	<p>resalta el hecho de que los mismos son asumidos de forma compartida por la entidad pública y el privado, resaltando que en todo caso el riesgo geológico permanece en cabeza de la primera. De manera similar, el riesgo de compra de predios es asignado de manera completa al Metro de Santiago.</p> <p>iii. Financiación: El Metro de Santiago ha sido exitoso en dos aspectos que están relacionados. Uno de ellos, es que es de los pocos sistemas metros en el mundo en ser superavitario en su operación, por lo que no requiere ningún tipo de subsidio del Estado para esto. El Metro de Santiago, hasta hace muy poco, siempre contó, y tuvo la necesidad de contar, con el respaldo del Gobierno Central para obtener las financiaciones que requería para el desarrollo de la infraestructura del sistema. El hecho de que recientemente, las entidades financieras no hayan solicitado garantía a la nación para algunas de las operaciones otorgadas, lo cual sucedió no sólo por las cifras de la compañía, sino también en que su principal accionista sea el Gobierno Central.</p> <p>iv. Ingresos Adicionales: El otro aspecto, tiene que ver con el nivel de los ingresos adicionales diferentes de los obtenidos por la prestación del servicio de transporte. Los otros ingresos del sistema por explotación comercial (1,8%), por publicidad (1,9%), por arriendo de varios (1,6%), y hoy en día por arriendo del sistema de ventas de pasajes a Transantiago (6%), representan un porcentaje cercano al 13% del total de ingresos de la compañía. De hecho los otros ingresos del sistema, son lo que ayudan a que los ingresos en su totalidad permitan cubrir los gastos de la operación y el mantenimiento del sistema, incluyendo la asunción de los gastos financieros de la compañía.</p> <p>v. Otros: El sistema llega a ser superavitario en su operación, por el hecho de no tener la necesidad de remunerar la inversión requerida, situación que se presenta por no haber involucrado a los privados en la financiación de la infraestructura, ni en la operación y mantenimiento del sistema. Otros aspectos, que se pueden y deben resaltar son: 1. el hecho que el costo aproximado de los desarrollos recientes de su infraestructura ha estado alrededor de los USD 50 millones de dólares, que resulta ser una cifra bastante atractiva cuando se compara con los costos de inversión que tienen los metros europeos, 2. el hecho de que la tarifa tiene dentro de sus componentes varios elementos, que mitigan el riesgo de aumentos en varios de los factores de costo (riesgo de aumento en el costo de la electricidad, IPC, monedas, entre otros).</p>
París	<p>i. Esquema de administración: Uno de los principales elementos de interés del caso de París, es su estructura organizacional, y el carácter público de las entidades que participan en él. Así mismo, que es un sistema regional, en el cual, aunque la participación pública se realiza por medio del gobierno central quien es accionista de las entidades como la RATP, pero son las entidades regionales y territoriales, como la alcaldía y los departamentos quienes se encargan de la administración de institución, al igual que de realizar los aportes a el STIF, quien los distribuye entre los diferentes operadores y administradores de las infraestructuras del sistema. Otro factor para resaltar es la integración de los diferentes medios de transporte que funcionan en la ciudad y región, lo anterior con el fin de utilizar mejor los recursos aportados, teniendo en cuenta que algunas de las infraestructuras que operan en él son deficitarias, lo anterior tiene como objetivo optimizar no sólo los gastos de operación de la infraestructura existente si no también las inversiones nuevas, lo cual le permite al sistema funcionar con los menores costos operacionales e inversiones.</p> <p>ii. Participación Privada: En lo relacionado con el carácter público del sistema, es importante mostrar que el ente que se agrupa en sistema, el STIF, es público, y que a su vez firma contratos de operación y coordina el funcionamiento de todo el sistema a través de otras entidades, las cuales no solo son en su mayoría de carácter público, si</p>

Caso	Características del contrato
	<p>no también que operan bajo una figura de monopolio. Lo anterior hace necesario que se garantice la transparencia en los contratos de operación con el fin de lograr que se dé la prestación del servicio con los niveles adecuados y buscando equilibrio al igual que transparencia en los costos operación de este, por lo cual las entidades que coordina el STIF se les remunera de acuerdo a su nivel de costos operacionales, así mismo se les premia o castiga dependiendo del cumplimiento de indicadores establecidos de forma contractual. De igual forma, la relación contractual entre las entidades públicas define la forma en que se comparte el riesgo de demanda, estableciéndose un pronóstico de ingresos directos por tráfico, y definiendo rangos de variación, que por ejemplo para el caso de la RATP es entre +/- 3%, estableciéndose que la diferencia positiva o negativa será asumida 50% por la RATP y el 50% por STIF y si los ingresos directos reales del año se encuentran en un rango de variación de fuera de la banda establecida de +/- 3%, la diferencia positiva o negativa será asumida 10% por la RATP y el 90% por STIF. Nos parece importante resaltar este punto, debido que a pesar que se traten de contratos entre entidades públicas, se hace necesario establecer mitigantes claros de riesgo de demanda, con el fin de lograr un desarrollo adecuado independiente y transparente del negocio, y en caso particular en este caso para mitigar el riesgo producto de la variación de la demanda causada por las decisiones de planeación del sistema tomadas por el STIF.</p> <p>En lo relacionado con algunos de los aportes que realiza el sector privado al sistema, es un caso interesante de obtención de recursos, que corresponden a un tributo o contribución dirigido especialmente a dar recursos para la operación del sistema. Estos recursos son aportados al STIF y corresponden al recaudo que se hace a las empresas con más de 9 empleados y que corresponde al 50% de los gastos de transporte público de sus empleados. Esto se realiza a través de los pasajes del transporte como carte orange.</p> <p>iii. Financiación: En lo relacionado con la estructura de financiación de la RATP, es importante resaltar que la compañía se financia principalmente con emisiones de bonos y papeles comerciales en el mercado de capitales, los cuales cuentan con la garantía de la compañía, que por ser propiedad del Estado Francés, cuentan con la garantía de la Nación.</p> <p>iv. Otros Ingresos: Otro punto importante del caso de París, corresponde a la generación de otros ingresos adicionales mediante el arriendo de infraestructura de comunicaciones, los cuales fueron instalados en los momentos de la construcción de la infraestructura, negocio que es manejado por la compañía Telcité, filial de la RATP, y que durante el 2008 presentó ingresos por EUR 19 MM. Este punto puede ser considerado como una opción de ingresos adicionales para el caso de la PLM de Bogotá, sin embargo es importante tener en cuenta que los valores esperados a recaudar por este servicio no sean significativos.</p>
Londres	<p>i. Esquema de administración: La estructura de administración del sistema de transporte, en cabeza de Transport for London (TFL) es un ejemplo exitoso en materia de integración, centralizando la prestación del servicio de transporte, buscando eficiencia en los sistemas y una mejor calidad en nivel de servicio y cobertura. Así mismo, el sistema implementado en Londres si bien respeta la independencia de operación de cada uno de los modos que lo integran, mantiene como objetivo primordial en su administración la no generación de competencia entre ellos. También es importante mencionar como esta integración incluye no solo al metro, trenes y buses, sino también taxis, bicicletas y transporte marítimo. Otro factor importante de esta estructura, son los mecanismos en los cuales se establecen los procesos, en los cuales</p>

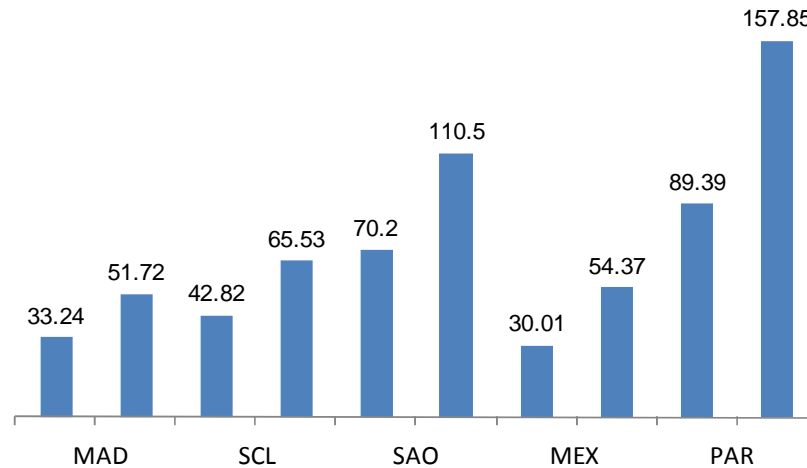
Caso	Características del contrato
	<p>se busca asegurar la responsabilidad en las actividades y decisiones. Teniendo en cuenta lo anterior, claramente es un referente en términos de esquema institucional que en el marco del SITP puede servir de referencia para la estructuración del esquema institucional a ser implementado en Bogotá.</p> <p>ii. Otros Ingresos: El caso de Londres muestra una nueva fuente de ingresos adicionales al sistema de transporte, que corresponde a un sobrecargo que deben pagar los carros particulares por entrar a una zona con alta congestión en la ciudad. Para el periodo 2008/09 estos ingresos representaron cerca del 9% de los ingresos operacionales totales. Este mecanismo, en la medida en que se tenga un estudio profundo que permita estimar tanto la potencial capacidad de pago como la infraestructura tecnológica necesaria para su implementación, podría ser implementado en Bogotá (ej. cargos por permitir la utilización de carros particulares en horarios de pico y placa, accesos a determinadas zonas, etc...).</p> <p>iii. Participación Público Privada: El caso de Metronet muestra la necesidad de que en el proceso licitatorio quede clara la forma como se va a remunerar al privado. Para el caso de Metronet, que era un consorcio de 5 socios, estos iban a remunerar su participación en el proyecto siendo proveedores de insumos, por lo cual no existía una alineación de intereses al interior de este. Lo anterior provocó que cada uno de los socios buscara el interés particular, más no el del consorcio, lo cual fue la principal causa de los sobrecostos y los atrasos en los cronogramas de entrega de las obras. Así mismo, este caso muestra la necesidad de establecer una estructura organizacional clara al interior de los privados que van a realizar los contratos, lo anterior con el fin de establecer responsables y que a su vez ellos creen mecanismos de control de los socios-proveedores del proyecto.</p> <p>Adicional a lo anterior, el esquema muestra claramente como la transferencia de riesgos, dado el tamaño de este tipo de proyectos, no puede ser 100% al privado, especialmente en lo relativo a componentes que dificulten la consecución de financiación (para este caso en particular se requirió el aval del público sobre la financiación requerida por el proyecto).</p>

Del análisis de los sistemas de metro estudiados se deduce que la eficiencia financiera del sistema depende en gran medida de la capacidad de recuperación de costes con la tarifa.

Otro aspecto importante que influye en la eficiencia financiera es la relación entre la tarifa y el salario medio del entorno del sistema de metro. Según la política tarifaria se puede desarrollar un sistema "elitista" como Sao Paulo o un sistema "populista" como el operado en México D.F.

Como se puede observar en los resultados presentados en la siguiente figura, hay que tener en cuenta que el valor de la inversión en cada caso no es extrapolable, al depender principalmente de las características del terreno que, a su vez, imponen el sistema de construcción.

Figura 11-1. Costo unitario (Millones USD/km) de inversión para distintas líneas para las experiencias metro analizadas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los diferentes entes operadores de los sistemas de metro estudiados

Por otra parte, la experiencia general en la operación de servicios tipo metro, ha corroborado en la casi totalidad de los casos revisados que no puede cubrirse la financiación de la actividad del transporte público (y menos aún la inversión) con sólo los ingresos provenientes de la tarifa.

En la búsqueda de aportes adicionales a la tarifa, se han ubicado fuentes de financiamiento alternativas, unas de carácter externo al sistema y otras propias asociadas a las instalaciones del sistema.

En el caso de las externas pueden considerarse:

- Compensaciones asociadas a la contaminación: ingresos provenientes por el consumo de combustible para el financiamiento del sistema de transporte público, ecoimpuestos por el uso y tenencia de vehículos y tasas por la utilización del aparcamiento
- Pago de los beneficiados del sistema. Los empresarios que han resultado beneficiados por los servicios de transporte, permitiendo que sus empleados y clientes accedan a sus mercados. Son representativos el impuesto francés de transporte (“Versement Transport”) y el Vale de Transporte en Brasil
 - El Versement Transport es aplicado a empresas que disponen de más de nueve empleados deben contribuir con los costos de inversión y explotación del transporte público (además en la zona de Paría, también reembolsan a sus empleados la mitad del precio pagado por los abonos temporales de transporte público)
 - El Vale de Transporte se instituyó en los años 80. Es una compensación laboral de los trabajadores mediante la cual las empresas costean la movilización de sus empleados entre el lugar de residencia y el de trabajo
- La comunidad en general beneficiada paga el sistema a través de los impuestos nacionales y locales, sean o no usuarios del sistema

En cuanto a las internas, la potencialidad de la infraestructura asociada a la construcción y operación de los sistemas de transporte colectivo y la demanda de usuarios que son atendidas genera atractivos importantes para la explotación comercial de las instalaciones, e incluso, con posibilidades de favorecer el incremento de demanda del servicio.

A este respecto, entre las opciones para obtener recursos destaca la explotación de publicidad en las estaciones y los trenes y el alquiler de los locales comerciales que se encuentran en las instalaciones del transporte. Fundamentalmente, las líneas de negocios se ubican en

- Alquiler de soportes publicitarios para la exhibición de campañas dentro del sistema
- Alquiler de espacios para: publicidad espectacular (en trenes y estaciones); para la promoción de productos por parte de las empresas; para la ubicación de máquinas *vending*; realización de rodajes de comerciales, películas, sesiones de fotografía, etc.
- Alquiler de locales comerciales para la explotación de tiendas
- Emisoras de radio – e incluso de televisión como en el metro de Madrid – transmitidas en exclusividad dentro de la Red de Metro y que engloba información de servicio, publicidad, noticias y evento
- Implantación de monitores de televisión en las estaciones (como el caso de Metro de Barcelona)
- Aprovechamiento de infraestructura de túneles para telefonía fija y móvil, tendidos y alquiler de fibra óptica
- Prestación de servicios de asesoría y asistencia técnica a otras empresas ferroviarias

Vale referir que según el análisis de experiencias internacionales la publicidad puede llegar a generar ingresos que rondan entre el 10 y 15 por ciento de las ventas por boletería.

Otro aspecto a mencionar en materia de ingresos adicionales está relacionado con la utilización de terrenos propiedad de metro para desarrollos inmobiliarios. Tal como se ha comentado en el apartado de lecciones aprendidas en materia urbanística, algunos metros como el de Sao Paulo, emplearon Áreas residuales de su propiedad para crear un programa de desarrollo inmobiliario asociado al sistema

Asimismo, en el caso de las estaciones y áreas de integración en Sao Paulo se desarrollaron importantes centros comerciales, que permitieron además de la obtención de una renta económica para el sistema el incremento de pasajeros, un aumento en la demanda de los pasajeros atendidos en hasta un 25%.

Recientemente en áreas que no han sido consideradas aún atractivas para el desarrollo de emprendimientos comerciales por ubicarse en las afueras de la ciudad se están utilizando como áreas de aparcamiento de vehículos asociados al sistema, a través de sistemas *parking – train*.

También destaca la localización de terminales de transporte interurbano en terrenos propiedad del sistema que son integrados con los servicios de la red metropolitana, que además de permitir la

obtención de recursos por la renta del espacio, favorece la integración e incremento de demanda de pasajeros al sistema.

La prestación de servicios de consultoría, entrenamiento a empresas, préstamos de equipamientos entre otros, también resultan figuras de práctica común entre las empresas operadoras de los sistemas, aunque los recursos por estos conceptos son de muy baja cuantía (por lo general representan cerca del 1% de los ingresos del sistema).

Eje 9 – Acciones en branding, comunicación y marketing

La consideración de un logo asociado al sistema de transporte tipo metro permite la identificación de la red de manera inequívoca. En un orden similar, la participación en diferentes eventos de índole internacional aporta prestigio a la entidad.

En lo referido a la comunicación, se debe resaltar la necesidad de ofrecer un servicio útil y actualizado de información a los usuarios (tanto a nivel de planificación de viajes como de actuaciones asociadas al sistema) que no induzca a confusiones jerarquizando las diferentes vías de información.

A su vez, se aconseja entablar acciones efectivas y globales de promoción y marketing para dar a conocer la alternativa de transporte público con la que cuentan los ciudadanos tales como publicidad en diferentes medios de comunicación y actividades de índole cultural y solidaridad, mejorándose a su vez la imagen del servicio, potenciándose así una valoración más positiva del mismo por parte de la ciudadanía.