

**Análisis comparativo de
alternativas modales para
Montevideo con foco en los
corredores 8 de Octubre – Cno.
Maldonado – 18 de Julio – Av. Italia –
Giannattasio**

Informe Etapa 1 – Preliminar

Marzo 2026



Índice

1.	Introducción.....	5
1.1.	Contexto del Proyecto.....	6
1.2.	Objetivo.....	8
1.3.	Resumen metodológico	10
2.	Contexto	13
2.1.	El sistema de Transporte Público del AMM	13
2.1.1.	Contexto general del sistema.....	13
2.1.2.	Disminución de la demanda de pasajeros del sistema e incremento en la venta de autos - Impactos en la movilidad	15
2.1.3.	Antecedentes de políticas públicas de transporte.....	16
2.2.	Corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8.....	18
2.2.1.	Camino Maldonado – Ruta 8.....	19
2.2.2.	Av. 8 de Octubre.....	20
2.3.	Corredor Avenida Italia – Avenida Giannattassio	21
2.3.1.	Avenida Giannattasio	22
2.3.2.	Avenida Italia	23
2.4.	Av. 18 de Julio.....	24
2.4.1.	Ciudad Vieja.....	26
3.	Caracterización conceptual de las alternativas modales	27
3.1.	Sistemas de ómnibus (BRT).....	29
3.1.1.	Tipologías.....	30
3.1.2.	Requerimientos de infraestructura y sección transversal.....	31
3.1.3.	Tipología vehicular (ómnibus biarticulado)	33
3.1.4.	Parámetros operativos	34
3.1.5.	Implicancias urbanas y de implementación	36
3.2.	Sistemas de Tren Ligero (LRT)	36
3.2.1.	Tipologías.....	38



3.2.2.	Requerimientos de infraestructura y sección transversal	39
3.2.3.	Tipología vehicular.....	41
3.2.4.	Parámetros operativos	41
3.2.5.	Implicancias urbanas y de implementación.....	43
3.3.	Sistemas de Tren Pesado (HRT).....	44
3.3.1.	Tipología	45
3.3.2.	Requerimientos de infraestructura y sección transversal	46
3.3.3.	Parámetros operativos	49
3.3.1.	Implicancias urbanas y de implementación	50
3.4.	Otras tecnologías guiadas de capacidad intermedia.....	52
3.4.1.	Monorriel	52
3.4.2.	Sistemas de buses guiados.....	53
3.4.3.	Aeromóvel	55
3.5.	Consideraciones preliminares para el contexto de Montevideo	57
4.	Premisas de diseño de las alternativas para el comparativo	59
4.1.	Características base de los corredores	60
4.1.1.	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	61
4.1.2.	Corredor Italia – Giannattasio.....	63
4.1.3.	Av. 18 de Julio – Corredor de integración de ejes metropolitanos	64
4.2.	Definición de las alternativas para el comparativo	66
4.2.1.	Alternativa 1 – BRT Carril Central “confinado” con flota de ómnibus biarticulado, sin rebase	66
4.2.2.	Alternativa 2 – Tranvía (LRT ligero 290 pasajeros).....	67
4.2.3.	Alternativa 3 – Metro Ligero.....	67
4.2.4.	Infraestructura crítica de la red de corredores.....	68
4.2.5.	Operadores del servicio de transporte.....	71
4.3.	Cuadros resumen	71
5.	Análisis comparativo de modos.....	75
5.1.	Factibilidad Técnica, Física y Operacional	77
5.1.1.	Disponibilidad de espacio (secciones)	77



5.1.2.	Requerimientos de infraestructura	80
5.1.3.	Densidad de cruces vehiculares	84
5.1.4.	Nodos especiales / casos particulares.....	92
5.2.	Desempeño Operacional	96
5.2.1.	Capacidad nominal.....	96
5.2.2.	Puntualidad y regularidad en el servicio.....	99
5.2.3.	Tiempos de espera	103
5.2.4.	Velocidad operacional	105
5.2.5.	Complejidad operacional	108
5.3.	Impacto y adaptación al sistema de transporte existente	112
5.3.1.	Cambios en patrones de transbordo	112
5.3.2.	Reestructuración de líneas.....	115
5.3.3.	Participación de operadores existentes	117
5.3.4.	Flexibilidad y resiliencia operativa	120
5.4.	Aspectos económicos preliminares.....	123
5.4.1.	Costos de implementación (CAPEX)	124
Resumen final.....		129
Referencias.....		136



Siglas y abreviaturas

Sigla / abreviatura	Significado
AMM	Área Metropolitana de Montevideo
Av.	Avenida
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BRT	Bus Rapid Transit (autobús de tránsito rápido)
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe
CAPEX	Capital Expenditure (costos de inversión o implementación)
Cno.	Camino
HRT	Heavy Rail Transit (ferrocarril urbano pesado / metro)
INE	Instituto Nacional de Estadística
ITDP	Institute for Transportation and Development Policy
km	Kilómetro(s)
km/h	Kilómetros por hora
LRT	Light Rail Transit (tren ligero)
m	Metro(s)
min	Minuto(s)
OPEX	Operational Expenditure (costos de operación y mantenimiento)
phs	Pasajeros por hora por sentido
PBI	Producto Bruto Interno
PTTMM	Programa de Transformación del Sistema de Transporte Metropolitano de Montevideo
seg	Segundos
STM	Sistema de Transporte Metropolitano
TCQSM	Transit Capacity and Quality of Service Manual
TP	Transporte público
vp	Volumen de pasajeros



1. Introducción

Este documento corresponde al Entregable 1 de la consultoría para la realización del “análisis comparativo de alternativas modales para Montevideo con foco en los corredores 8 de Octubre – Cno. Maldonado – 18 de Julio y Av. Italia – Giannattasio” elaborado por el grupo de empresas REDES México – REDES Brasil – AIC Economía & Finanzas.

Este informe presenta los resultados de la primera etapa, basados en el análisis conceptual de carácter cualitativo, con aproximaciones generales a indicadores cuantitativos clave, basado en información preexistente de la situación urbana y de transporte de los corredores en cuestión, parámetros técnicos de referencias internacionales y *benchmarking* de tecnologías y proyectos aplicables.

El presente documento tiene carácter analítico y comparativo. Su objetivo es examinar distintas tecnologías de transporte público y sus principales implicancias operativas, urbanas e institucionales, con el fin de poner en valor un conjunto de variables relevantes para el análisis de corredores estructurales de transporte.

El alcance y los objetivos de este trabajo se orientan a brindar apoyo a la toma de decisiones estratégicas en el proceso de planeación y ejecución del PTMM. Este producto, sin embargo, debe entenderse dentro de los límites de un estudio que no constituye un análisis de factibilidad ni una recomendación sobre la alternativa a implementar. La determinación de la tecnología más adecuada para un corredor específico requiere un análisis detallado de las condiciones locales, incluyendo la demanda actual y proyectada, las restricciones físicas del corredor, el contexto urbano, las capacidades institucionales y las consideraciones económicas, aspectos que exceden el alcance de este documento.

En este sentido, el estudio reconoce que la definición de una alternativa modal no debe basarse en una única variable de análisis, sino en la evaluación conjunta de múltiples factores. Estas variables (técnicas, operativas, urbanas y económicas) interactúan entre sí y, por lo tanto, deben analizarse de manera integral y no de forma aislada. Al presentar las características y las implicancias de diferentes alternativas modales, el documento busca contribuir a una mejor comprensión de los factores que influyen en su viabilidad y orientar la identificación de aspectos que requieren análisis más profundos en etapas posteriores.

Asimismo, el estudio incorpora un *benchmarking* internacional, orientado a presentar experiencias de aplicación de distintas tecnologías en contextos urbanos. No obstante, se reconoce que la implementación de sistemas de transporte público se encuentra



fuertemente condicionada por diversos factores locales. En este sentido, las experiencias analizadas deben entenderse como referencias que permiten contextualizar el análisis y aportar elementos para la reflexión sobre las posibles implicancias de cada alternativa en el proceso de toma de decisiones.

1.1. Contexto del Proyecto

El presente estudio se desarrolla en el marco de un conjunto de cooperaciones técnicas orientadas a brindar apoyo técnico en el marco del Programa de Transformación del Sistema de Transporte Metropolitano de Montevideo (PTTMM), con el propósito de contribuir a la formulación de propuestas técnicas e institucionales que permitan mejorar el desempeño del sistema de Transporte Público (TP) en el Área Metropolitana de Montevideo (AMM). El trabajo de esas cooperaciones sigue una estrategia orientada a mejorar la eficiencia del sistema de transporte de pasajeros, la accesibilidad territorial y la equidad social, con especial atención a los sectores de la población que presentan mayores niveles de vulnerabilidad y dependencia del transporte colectivo.

Esta consultoría se inscribe en las políticas públicas nacionales vinculadas al desarrollo sostenible, la mitigación y adaptación al cambio climático y la promoción de una movilidad urbana más inclusiva. En este sentido, el fortalecimiento del transporte público se reconoce como una herramienta clave para reducir desigualdades en el acceso a oportunidades urbanas, disminuir la dependencia del automóvil privado y mitigar los impactos ambientales asociados a la movilidad urbana.

Desde esta perspectiva, cualquier decisión sobre la configuración modal de los corredores analizados debe evaluarse prioritariamente en función de su impacto sobre la mayoría de los usuarios, colocando en el centro de los análisis variables como la accesibilidad universal, los tiempos de viaje de quienes dependen del transporte colectivo, la seguridad vial y la equidad territorial en la distribución de la oferta de movilidad. La inversión pública en infraestructura de transporte constituye, en definitiva, una política redistributiva de primer orden, cuya orientación hacia el bienestar colectivo no debe subordinarse a criterios que privilegien exclusivamente la eficiencia del flujo vehicular privado.

En las últimas décadas, el AMM ha experimentado transformaciones territoriales significativas, caracterizadas por procesos de expansión urbana de baja densidad y un crecimiento sostenido del parque automotor. Estas dinámicas han incrementado las distancias de viaje y la presión sobre la infraestructura existente, generando efectos negativos sobre el funcionamiento de la red vial, la eficiencia operativa del TP y la calidad del espacio urbano. Como consecuencia, se observan mayores niveles de congestión,



pérdida de velocidad comercial de los servicios de transporte colectivo y un deterioro progresivo de las condiciones ambientales y de seguridad vial, con impactos desiguales sobre los distintos sectores de la población.

En este contexto, el sistema de transporte público metropolitano ha registrado una disminución sostenida de su demanda y un deterioro en su percepción por parte de los usuarios. La evolución de los indicadores de uso muestra una caída estructural en la cantidad de viajes realizados, tanto en los servicios urbanos como suburbanos, tendencia que, si bien se vio acentuada por el impacto de la pandemia, responde a procesos previos asociados a problemas de confiabilidad, regularidad y competitividad del sistema frente al automóvil privado. Esta situación compromete la sostenibilidad operativa y financiera del transporte público y refuerza la necesidad de avanzar en intervenciones de carácter estructural. Esa tendencia sigue un patrón observado en diversas ciudades de América Latina, y representa un desafío común a muchas metrópolis y, por ese motivo, es de gran utilidad el desarrollo de evaluaciones comparativas para identificar y comprender el potencial que distintas soluciones ofrecen en contextos urbanos, tanto en función de sus semejanzas como también de sus diferencias.

El eje conformado por Ruta 8 – Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre – Avenida 18 de Julio, se identifica como uno de los corredores estructurantes más relevantes del sistema de movilidad metropolitano. Desde el punto de vista del transporte público, este eje concentra actualmente los mayores niveles de demanda del sistema, lo que pone de manifiesto su rol central en la estructura de viajes del AMM y su carácter estratégico para la implementación de intervenciones de alto impacto.

Según estudios de prefactibilidad realizados anteriormente, se identificó al corredor Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre como el corredor con mayor demanda del sistema metropolitano, y el eje Avenida Giannattasio – Avenida Italia, correspondiente al tercer corredor con mayor volumen de viajes, considerando asimismo la convergencia de ambos en la zona de Tres Cruces, continuando de manera integrada en la prolongación hacia el área central a través de la Avenida 18 de Julio y su llegada a Ciudad Vieja.

En esos estudios se establecieron una serie de bases técnicas y conceptuales para la definición, priorización y caracterización de los corredores de alta capacidad en el AMM, que fueron considerados como uno de los insumos iniciales para la presente evaluación, en combinación con otras fuentes de información sobre las tecnologías de transporte y sus aplicaciones en otras ciudades, con foco en experiencias de América Latina.



Frente a este escenario, el PTTMM establece como objetivo específico **profundizar el análisis de alternativas orientadas a mejorar la eficiencia del sistema de transporte de pasajeros y la movilidad de personas en el AMM, abordando de manera integrada los aspectos técnicos, urbanos e institucionales que inciden en su desempeño**. Para la implementación de este objetivo, se previó la contratación de un conjunto de estudios complementarios que permitan evaluar distintas líneas de intervención y sus impactos, dentro de los cuales se presenta el presente “Estudio de alternativas modales para el desarrollo de un Sistema de Transporte Público Metropolitano de Montevideo tronco alimentado” para desarrollar un análisis comparativo de posibles tipos de soluciones de transporte con foco en los corredores 8 de Octubre – Cno. Maldonado – 18 de Julio y Av. Italia – Giannattasio”.

1.2. Objetivo

El objetivo general de este trabajo es evaluar alternativas modales para desarrollar un sistema tronco alimentado para el sistema de transporte público metropolitano de Montevideo, considerando los aspectos operativos, técnicos, económicos, de infraestructura, institucionales y de articulación modal que permitan identificar ventajas, limitaciones y condiciones de aplicabilidad para el AMM.

El análisis comparativo busca llegar a un alcance conceptual de las tres principales alternativas modales consagradas para el transporte de mediana y alta capacidad (BRT, Tren Ligero y Metro), priorizando la obtención de indicadores cualitativos y cuantitativos utilizando principalmente información existente, estudios previos, literatura técnica de referencia y *benchmarking* internacional, aplicando a las características de los corredores y a las condiciones urbanas del contexto local. Se espera, con los resultados, brindar apoyo a la toma de decisiones estratégicas en el proceso de planeación y ejecución del PTTMM.

El estudio tiene como finalidad evaluar la adecuación relativa de las distintas alternativas modales a los ejes de transporte priorizados, con foco en los corredores 8 de Octubre – Cno. Maldonado – 18 de Julio y Av. Italia – Giannattasio, identificando ventajas, limitaciones y condiciones de aplicabilidad, sin constituir un estudio de prefactibilidad ni de ingeniería de detalle.

Es importante señalar que este trabajo no representa un estudio de factibilidad, no busca emitir conclusiones categóricas ni definir de manera concluyente la selección de un modo de transporte sobre otro. Su propósito es proporcionar los elementos técnicos y analíticos para apoyar la toma de decisiones estratégicas, a partir de una comparación



estructurada de criterios, ventajas, limitaciones y condiciones de aplicabilidad de cada alternativa modal en los corredores priorizados.

Los objetivos específicos estipulados para este estudio son:

- Relevar y sistematizar antecedentes disponibles (estudios previos, normativa, información de oferta/demanda y *benchmarking*) relevantes para caracterizar alternativas modales y el contexto local.
- Elaborar un panorama sintético de la situación base del sistema y de los corredores priorizados, construido exclusivamente a partir de información existente.
- Definir un marco comparativo (componentes, criterios e indicadores) y explicitar los problemas a resolver con las alternativas evaluadas.
- Desarrollar una caracterización conceptual de las alternativas modales consideradas, incluyendo rangos típicos de desempeño y requerimientos generales.
- Realizar un análisis comparativo cualitativo (y cuantitativo selectivo cuando la información lo permita) según el marco de criterios acordado, manteniendo el enfoque conceptual del estudio.
- Desarrollar el análisis incorporando las condiciones reales de los corredores priorizados del área Metropolitana de Montevideo, ajustando la comparación a restricciones físicas, urbanas, operativas e institucionales del contexto local.
- Incorporar una mirada financiera y de factibilidad de implementación, incluyendo esquemas de financiamiento potenciales, necesidades de aportes públicos y riesgos principales, con propuestas de mitigación a nivel conceptual.



1.3. Resumen metodológico

Con el fin de alcanzar los objetivos de la presente consultoría, el estudio se estructura en una serie de premisas, insumos y bases conceptuales, resumidas a continuación.

Este comparativo busca generar un análisis sistemático que aborda una amplia gama de dimensiones y componentes clave para el diseño, la implementación y la operación de sistemas de transporte de mediana y alta capacidad con base en el conjunto de informaciones existentes y estudios realizados previamente. El trabajo, por lo tanto, combina el relevamiento y sistematización de **información secundaria y antecedentes existentes** relacionados directamente con el contexto local y las características de los corredores, y un **benchmarking internacional** de sistemas comparables, complementado por la aplicación de parámetros de referencia de la literatura técnica especializada. En esta etapa no se realizaron nuevos levantamientos de datos de campo.

Las fuentes específicas utilizadas en cada componente del análisis se presentan individualmente en sus respectivos apartados a lo largo del documento, pero los principales insumos pueden resumirse de la siguiente manera:

- **Literatura técnica especializada:** se consultaron guías técnicas y manuales de referencia como la Guía de Planificación de BRT del ITDP, el manual *Transit Capacity and Quality of Service*¹, documentos de bancos multilaterales de desarrollo como BID, CAF y Banco Mundial, y organismos de cooperación internacional como ONU-Hábitat.
- **Benchmarking internacional:** se conformó una base de datos con docenas de proyectos de transporte público de mediana y alta capacidad en diversos países, con especial énfasis en experiencias de América Latina para extraer parámetros de costos, plazos, capacidades y desempeño operativo.
- **Referencias nacionales:** para la estimación de costos (CAPEX), se tomaron como base proyectos de infraestructura locales asimilables, como el Túnel de Av. Italia, el Viaducto de la Rambla y el Ferrocarril Central.
- **Estudios previos:** se utilizaron bases técnicas de estudios de prefactibilidad anteriores, planes e instrumentos de la planificación y la movilidad urbana del Área Metropolitana de Montevideo.
- **Datos de demanda de transporte y movilidad:** se incorporaron proyecciones demográficas del INE, resultados de la Encuesta de Movilidad 2016 e indicadores

¹ Este documento representa una referencia técnica clave. Si bien la cita formal a este documento, según el formato APA, debería ser (Kittelson & Associates et al., 2013), para facilitar su identificación se usarán las siglas del título de la publicación y el año (TCQSM, 2013).



de números de pasajeros de los estudios sobre determinantes de la demanda de transporte público en Montevideo.

El desarrollo del análisis se rige por las siguientes premisas fundamentales:

- **Enfoque en el usuario:** el prediseño de alternativas para efectos de comparación y los criterios y principios de evaluación priorizan la perspectiva del pasajero, buscando maximizar el nivel de servicio, la confiabilidad, el acceso, la conveniencia y la disponibilidad del servicio.
- **Deseo de viaje:** las soluciones de transporte deben conectar de manera directa y eficiente las cuencas generadoras de viajes (áreas residenciales y periferias) con las centralidades atractoras (áreas concentradoras de servicios y comercio, centro y Ciudad Vieja), evitando soluciones fragmentadas.
- **Alcance conceptual:** el estudio, en esta etapa, no constituye un proyecto de ingeniería de detalle, sino una herramienta de apoyo a la toma de decisiones estratégicas basada en comparaciones estructuradas.
- **Integración sistémica:** las alternativas para los corredores de más alta demanda (8 de Octubre – Cno. Maldonado – 18 de Julio – Av. Italia – Giannattasio) se evalúan como componentes de una red más amplia, considerando su interoperabilidad y complementariedad con el sistema de transporte existente.
- **Equivalencia funcional y comparabilidad:** se definen alternativas con condiciones y alcances equivalentes en términos de cobertura origen-destino y de características funcionales (capacidad requerida frente a la demanda, nivel de segregación, etc.) para garantizar condiciones equiparables frente a las necesidades y al contexto urbano local específico y, así, ofrecer una comparación equitativa.

Respecto al enfoque conceptual, la metodología de análisis y la evaluación de alternativas – concentrada en los modos de BRT, Tren Ligero y Metro (ver apartados 3 y 4) – se estructuran en torno a algunas dimensiones clave:

- **Factibilidad Técnica, Física y Operacional:** evalúa aspectos como la disponibilidad de espacio en las secciones viales, los requerimientos de infraestructura y la complejidad de nodos críticos como Tres Cruces.
- **Desempeño Operacional:** analiza la capacidad de transporte, la confiabilidad del servicio, la velocidad comercial y los tiempos de espera.
- **Impacto y Adaptación al Sistema Existente:** pondera la necesidad de reestructurar líneas actuales, los cambios en los patrones de transbordo y el potencial de reconversión de los operadores actuales.



- **Aspectos Económicos Preliminares:** establece órdenes de magnitud para el CAPEX (inversión inicial) y OPEX (operación y mantenimiento), además de evaluar riesgos de sobrecostos y sobreplazos basados en la evidencia regional.

Este enfoque integral permite que la comparación supere la visión aislada de la infraestructura, evaluando cada modo por su efectividad real como medio de transporte para la población del Área Metropolitana de Montevideo.

Con respecto al proceso de elaboración, el estudio busca conjugar el contexto actual, la información existente, la experiencia internacional y la experiencia del equipo consultor para entregar un análisis de corto plazo que contribuya con insumos de apoyo a la toma de decisiones. De esta forma, la metodología y fases del estudio se organizaron de la siguiente manera:

- Entrega del análisis e informe preliminar, con plazo de 6 semanas (contenido en el presente documento)
- Entrega final con refinamiento de los análisis e incorporación de criterios complementarios en un plazo total de 12 semanas (siguiente entrega).



2. Contexto

El presente capítulo presenta una caracterización técnica de la situación base de los corredores 8 de Octubre – Camino Maldonado – 18 de Julio y Av. Italia – Giannattasio, con el propósito de establecer las condiciones iniciales que enmarcan la evaluación comparativa de alternativas modales. El análisis se construye exclusivamente a partir de información secundaria disponible y antecedentes técnicos existentes, sin la incorporación de nuevos relevamientos de campo.

La caracterización considera variables estructurales que inciden en la viabilidad y el desempeño de soluciones de transporte de mediana y alta capacidad, incluyendo la demanda actual y su distribución espacial y temporal, la configuración operativa de la red de servicios vigente, el marco institucional y de gestión del sistema, así como las condiciones geométricas, urbanas y ambientales que definen las restricciones físicas del derecho de vía.

Asimismo, se examinan los principales condicionantes de potencial crecimiento de la demanda y los márgenes de intervención sobre el espacio vial, identificando restricciones que pueden incidir en el diseño, implantación y operación de sistemas estructurantes. Este panorama constituye la línea base sobre la cual se contrastan las alternativas tecnológicas desarrolladas en los capítulos posteriores.

2.1. El sistema de Transporte Público del AMM

2.1.1. Contexto general del sistema

El AMM concentra una proporción significativa de la población y de las actividades del país. Abarca aproximadamente el 1,5% del territorio nacional y reúne en torno al 53% de la población total, con una extensión cercana a los 2.000 km² y una población estimada próxima a los 2 millones de habitantes. Comprende la totalidad del departamento de Montevideo y sectores de los departamentos de Canelones y San José. En términos de representatividad económica, el AMM corresponde a 65% del PBI nacional, y, de particular interés para el análisis de los desplazamientos urbanos, corresponde a 80% en el sector de servicios.

De acuerdo con las proyecciones para las próxima dos décadas del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2025), la dinámica demográfica del país estará fuertemente influida por la migración interna, que será el principal determinante de los cambios poblacionales a escala territorial. En este marco, el departamento de Montevideo presenta una tendencia de pérdida relativa de población, con una reducción estimada de aproximadamente el



11%. No obstante, en conjunto con los departamentos de Canelones y San José, el AMM continuará concentrando más de la mitad de la población del país, alcanzando alrededor del 57% del total nacional.

Según la Encuesta de Movilidad 2016 (CAF, 2017), en el AMM se realizan diariamente alrededor de 4,2 millones de viajes. Predominan los desplazamientos en vehículo particular (auto y moto), que representan aproximadamente el 36% del total de los viajes, porcentaje que asciende al 51% al excluir los desplazamientos cortos a pie². Por su parte, los viajes en ómnibus alcanzan el 25% del total, o el 36% si se consideran únicamente los viajes motorizados.

En este contexto territorial y funcional se inserta el sistema de transporte público metropolitano, que cumple un rol central en la movilidad cotidiana, aunque enfrenta desafíos estructurales de larga data.

El sistema de transporte público del AMM se estructura en cuatro subsistemas: urbano de Montevideo, suburbano, interurbano de Canelones e interurbano de San José. En conjunto, estos sistemas movilizan aproximadamente 2.300 ómnibus, organizados en torno a unas 400 líneas operadas por 19 empresas. En el año 2019, el sistema recorrió del orden de 190 millones de kilómetros y registró la venta de aproximadamente 330 millones de pasajes. Dentro de este conjunto, el subsistema urbano de Montevideo (IMM, 2025) concentra alrededor de 1.500 unidades y unas 140 líneas, bajo la regulación de la Intendencia de Montevideo. La flota está compuesta mayoritariamente por ómnibus estándar de 12 metros, con una presencia creciente de unidades eléctricas (15%).

La configuración institucional y operativa del sistema ha dado lugar a dinámicas de competencia entre subsistemas y también al interior de cada uno de ellos. En numerosos corredores viales coexisten múltiples operadores y servicios que atienden de manera concurrente distintos pares de origen-destino. Esta situación responde, en gran medida, a un diseño histórico de la red orientado a resolver demandas específicas, sin una consideración integral de los flujos masivos de movilidad que caracterizan al AMM. Ese tipo de formación de la red de transporte es una situación común en gran parte de las ciudades, que al crecer gradualmente (en población y en extensión territorial) realizaron ampliaciones incrementales a las líneas existentes o creando nuevos servicios enfocados a conexiones específicas, pero que después de décadas evolucionando de esa forma terminan careciendo de una revisión estructural de cómo debería ser reorganizado el sistema con una perspectiva integral y de introducción de soluciones de transporte de

² Se considera como categoría "a pie corto" a los viajes con caminatas de 10 a menos cuadras



mediana y alta capacidad. Como resultado, se generan desalineaciones en la oferta que inciden sobre la eficiencia operativa y la calidad del servicio percibida por los usuarios.

A esta fragmentación operativa se suma una dispersión de competencias regulatorias entre distintos niveles de gobierno, lo que dificulta una planificación integrada del sistema, conspira contra el uso eficiente de los recursos disponibles y limita la capacidad de implementar mejoras estructurales de alcance metropolitano.

2.1.2. Disminución de la demanda de pasajeros del sistema e incremento en la venta de autos - Impactos en la movilidad

De acuerdo con estimaciones basadas en la evolución de la venta de boletos (CINVE, 2023), desde mediados de la década de 1990 el sistema de transporte público del AMM ha atravesado un proceso sostenido de pérdida de demanda, pasando de una venta anual de pasajes de alrededor de 400 millones en 1995 a valores cercanos a los 300 millones en 2019, previo a los efectos de la pandemia de COVID-19, que posteriormente todavía bajó a aproximadamente 250 millones en 2022, una vez superados los efectos más críticos de la pandemia. Entre los factores que explican este proceso se destaca la evolución de los precios relativos de los autos y las motos, donde en las últimas dos décadas, el precio real se redujo cerca de un 50%, en un contexto de mejora de los ingresos reales de los hogares, lo que contribuyó a cambios en los hábitos de movilidad y a un mayor uso del vehículo particular.

El declive del transporte público y el aumento de la motorización privada han tenido impactos significativos sobre la movilidad metropolitana. Entre las principales externalidades negativas se encuentran el aumento de la congestión, la reducción de las velocidades de circulación, el incremento de los tiempos de viaje, la homogenización del perfil del usuario del transporte público y la persistencia de inequidades en términos de accesibilidad y género.

La congestión urbana afecta de manera directa la operación del transporte público. La ausencia de una priorización sistemática de su circulación, más allá de algunas experiencias puntuales en determinadas avenidas, limita la capacidad del sistema para cumplir con los horarios planificados, mantener regularidad y ofrecer frecuencias atractivas. En este contexto, fenómenos como el *bunching* (agrupamiento de vehículos) se vuelven frecuentes, deteriorando la calidad del servicio y la eficiencia en el uso de la flota.

La reducción de las velocidades comerciales constituye uno de los factores centrales en la pérdida de competitividad del transporte público. Entre 2007 y 2022, algunas líneas del sistema registraron incrementos del orden del 16% en los tiempos promedio de viaje. En



la actualidad, la velocidad media de circulación del transporte público en Montevideo se sitúa entre los 15 y 16 km/h.

El incremento del uso del vehículo particular también ha tenido consecuencias ambientales relevantes. Según datos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2019, el sector transporte es responsable de cerca del 60% de las emisiones del país y ha sido uno de los principales impulsores del aumento de CO₂ en los últimos años. Si bien el transporte público presenta ventajas ambientales relativas, la flota metropolitana continúa siendo mayoritariamente diésel. La incorporación de ómnibus eléctricos ha comenzado, pero su alcance aún es limitado: actualmente existen sólo 37 unidades eléctricas en el AMM, sobre una flota total cercana a las 2.300.

2.1.3. Antecedentes de políticas públicas de transporte

En los últimos años, las políticas públicas vinculadas al transporte público del AMM han estado orientadas principalmente a la contención del precio del boleto, la ampliación de sus prestaciones, la mejora de algunos atributos de las unidades, el aumento de la cobertura territorial y el fortalecimiento de la información disponible para los usuarios. Si bien estas medidas son fundamentales para dar acceso amplio al servicio, para reducir desigualdades sociales y han contribuido a mitigar determinados efectos negativos del funcionamiento del sistema, no han sido suficientes para revertir el proceso estructural de declive de la demanda ni para mejorar de manera sustantiva su competitividad frente al vehículo particular.

Un antecedente relevante en materia de priorización del transporte público es la implementación del corredor Garzón, en el marco del plan de movilidad iniciado en 2005, que proponía la creación de un sistema metropolitano organizado en torno a corredores exclusivos. El proyecto piloto, inaugurado en el año 2012, presentó un bajo potencial de mejora de la movilidad debido a los reducidos niveles de congestión existentes en el corredor, lo que significó bajo impacto en términos de ahorros de tiempos de viaje. También pueden citarse dificultades vinculadas a la capacidad técnica institucional y a la implementación incompleta de las reformas operativas e institucionales necesarias. Posteriormente, en 2016, se implementó un segundo corredor con características semejantes en la Av. General Flores. Como consecuencia, la experiencia no logró consolidarse como un caso demostrativo exitoso, derivando en un rechazo político y en la no ejecución de otras fases del plan, que preveía la implementación de un sistema de corredores exclusivos en áreas más densas del AMM. Evaluaciones internacionales posteriores reflejaron estos resultados, asignando puntajes relativamente bajos a la experiencia de BRT en Montevideo (por ejemplo, la evaluación realizada por ITDP, 2024,



que lo puntuó con 42/100 con base en los criterios definidos por la organización), lo que evidencia oportunidades significativas de mejora tanto en el diseño como en la operación de futuros corredores.

Dentro del marco de las iniciativas más recientes en el contexto del STM, se han implementado algunas medidas de priorización del transporte público en la circulación urbana, entre las que se destaca la creación de carriles Solo Bus (IMM, s.f.), mediante demarcación vial. Estas intervenciones, orientadas a favorecer la circulación preferencial del transporte colectivo del STM, buscan mejorar la fluidez, ordenar el tránsito y reducir los tiempos de viaje en tramos congestionados.

En particular, se destacan las actuaciones sobre los ejes avenida 8 de Octubre y avenida Italia, ambos identificados como corredores estratégicos y focos centrales del presente estudio. En la avenida 8 de Octubre, los carriles exclusivos se localizan entre Presidente Berro y Vicenza, mientras que en la avenida Italia se implementan en los tramos comprendidos entre Bulevar General Artigas y Manuel Albo / avenida Ricaldoni, y entre Escuder Núñez / Las Heras y avenida Bolivia. En todos los casos, la operación es de lunes a viernes, entre las 7:00 y las 20:00 horas. No obstante, estas intervenciones han tenido un alcance limitado y se han desarrollado de forma aislada, sin integrarse plenamente en una estrategia estructural de reorganización del sistema.

La Encuesta de Movilidad del Área Metropolitana de Montevideo 2016 (CAF, 2016) evidencia que los atributos vinculados a la calidad operativa del servicio tienen un peso determinante en la percepción de los usuarios. De acuerdo con sus resultados, la frecuencia constituye el aspecto más valorado (41,6%), seguida por la puntualidad (16,2%) y, en tercer lugar, el precio del boleto (12,2%). Estos hallazgos sugieren que la mejora en los tiempos de viaje, la regularidad y la confiabilidad del servicio representan factores clave para recuperar competitividad frente al vehículo particular.

En este contexto, desde el ámbito del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, las 3 Intendencias involucradas y otros actores institucionales, se reconoce la necesidad de avanzar hacia una transformación estructural del sistema de transporte público metropolitano, orientada a la construcción de una red de alta calidad capaz de atraer nuevos usuarios y responder de manera eficiente a las necesidades de movilidad del AMM. Este enfoque supone el desarrollo de una red estructurante de transporte público rápido, frecuente, cómodo y conectado, con prioridad física y semafórica, altos estándares operativos, integración modal y nodos de intercambio de calidad.

Como primera etapa de este proceso de transformación, se identifican dos corredores estratégicos para iniciar la reconfiguración del sistema: el eje Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre y el corredor Avenida Giannattasio – Avenida Italia. En paralelo, y a



la luz de la experiencia del corredor Garzón, resultan igualmente prioritarios dos aspectos clave para el éxito en la implementación de un proyecto de transporte tan necesario para el AMM. Por un lado, diseñar sistemas que brinden una solución integral para la movilidad de la población, con corredores que conecten de forma directa y efectiva las áreas residenciales periféricas con los centros concentradores de servicios, comercio y destinos de viaje (en lugar de soluciones “parciales” que atienden únicamente una parte de los trayectos). Por otro lado, fortalecer la gobernanza metropolitana del transporte, en línea con la aprobación, a final del 2025, de la Ley que crea la Agencia Metropolitana de Movilidad, organismo que tendrá a su cargo la definición del marco normativo y la planificación integral de los servicios de transporte público multimodales que operan en el Área Metropolitana de Montevideo.

2.2. Corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8

El corredor Ruta 8 – Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre (y su continuación natural por Av. 18 de Julio hasta la Plaza Independencia) constituye el eje de mayor relevancia del sistema de transporte público de Montevideo en términos de demanda. Con una extensión aproximada de 16 kilómetros entre Zonamerica y el nodo de Tres Cruces, concentra una elevada cantidad de servicios de transporte público urbano y suburbano, configurándose como uno de los principales soportes de la movilidad cotidiana entre el noreste metropolitano y el área central de Montevideo.

Este eje articula áreas de fuerte heterogeneidad territorial y funcional, atravesando barrios consolidados de alta densidad, sectores residenciales en expansión, centralidades intermedias y áreas con presencia de grandes equipamientos urbanos y actividades productivas. A través de su continuación por la avenida 18 de Julio a la altura de Tres Cruces, el corredor conforma un acceso directo al área central y a la Ciudad Vieja, reforzando su carácter estratégico dentro de la red estructurante del transporte público metropolitano.

Por su elevada intensidad de flujos, la coexistencia de múltiples modos de transporte y su rol como principal puerta de entrada desde noreste del área metropolitana, el corredor presenta sectores con condiciones críticas de operación, pero también un alto potencial para la implementación de mejoras estructurales orientadas a incrementar la eficiencia, confiabilidad y atractivo del transporte público.

En términos de contexto de propuestas anteriores para la implementación de sistemas de mediana y alta capacidad, el *Proyecto de Movilidad Metropolitana. Derecho a la movilidad/Derecho al espacio público* (FADU, 2025) propone la reconfiguración integral del corredor mediante la implantación de un carril exclusivo central por sentido, en



superficie, destinado a la circulación de líneas troncales. Se exceptúan los cruces con Av. Luis A. Herrera / Av. Centenario y Bvar. Batlle y Ordóñez, donde se plantean pasos soterrados para garantizar la continuidad operativa del sistema.

El esquema contempla la operación de servicios troncales con distintas extensiones, definidas en función de la demanda de viajes, junto con la reestructuración de las rutas actuales para su funcionamiento como líneas alimentadoras en nodos estratégicos del corredor, tales como Zonamerica, Intercambiador Belloni, Pan de Azúcar, Batlle y Ordóñez, Luis A. Herrera y Tres Cruces.

De acuerdo con este esquema operativo, y considerando la prolongación del corredor por 18 de Julio hasta Plaza Independencia, se establecen los siguientes parámetros de diseño, que sirven de base para la demanda/capacidad de referencia para los análisis posteriores del presente estudio (REDES, 2025):

- Pasajeros esperados en la sección de máxima demanda: **4.300 pasajeros por hora por sentido (phs)**

Los diferentes ejes que conforman el corredor presentan características particulares que se describen a continuación.

2.2.1. Camino Maldonado – Ruta 8

- **Extensión:** 9 kilómetros entre Zonamerica y el Intercambiador Belloni
- **Secciones tipo:**
 - Ancho total: 36 metros en secciones con mayor espacio, con configuración de dos o tres carriles de circulación para tránsito general por sentido, separados por boulevard central especialmente en el tramo de Ruta 8
 - Aceras con paradas de transporte público
- **Cantidad de intersecciones.** 46 intersecciones, de las cuales 10 (22%) reguladas por semáforo
- **Transporte Público:**
 - **Cantidad de líneas:** Dentro del eje circulan 17 líneas de transporte público, 10 urbanas y 7 suburbanas, destacando que no todas ellas recorren la totalidad del corredor.
 - **Distancia media entre paradas actuales:** 312 metros (CINVE, 2023)
 - **Cantidad máxima de servicios hora pico actualmente:** 110 frecuencias por sentido en el sector de mayor confluencia de líneas.
 - **Nodos de integración de importancia:**



- Nodo Zonamerica. Compuesto por atractores como Zonamerica, Facultad de Veterinaria y Estadio de Peñarol.
- Centralidades locales con conexión de líneas
 - Kilómetro 16
 - Punta de Rieles
 - Libia

2.2.2. Av. 8 de Octubre

- **Extensión:** 6 kilómetros entre el Intercambiador Belloni y Tres Cruces
- **Secciones tipo:**
 - Ancho total: Los anchos son variables, con secciones que van entre los 16 metros entre Belloni y Garibaldi, y los 26,2 metros (CINVE, 2023).
 - Dos carriles de circulación para tránsito general por sentido, incorporando un tercer carril de solo bus entre Pan de Azúcar y Tres Cruces
 - Aceras con paradas de transporte público
- **Intersecciones.**
 - 44 intersecciones, de las cuales 31 (70%) reguladas por semáforo
 - Cruces de importancia:
 - Bv. José Battle y Ordoñez
 - Av. Luis A. Herrera / Av. Centenario
 - Garibaldi/Albo
 - Tres Cruces -- Desnivel
- **Atractores de viaje**
 - Centro comercial a cielo abierto en el tramo de aproximadamente 1400 metros comprendido entre Félix Laborde y Agustin Abreu.
 - Centros de salud. En el tramo comprendido entre Larravide y Tres cruces, se presenta un polo de salud.
 - Terminal de Pasajeros Tres cruces
 - Centros de estudios a nivel primario, secundario y terciario.
 - Estadio del Club Nacional de Fútbol
- **Transporte Público:**
 - **Cantidad de Líneas:** Dentro del eje circulan 42 líneas de transporte público, 20 urbanas y 22 suburbanas, destacando que no todas ellas recorren la totalidad del corredor.
 - **Distancia media entre paradas actuales:** 323 metros (CINVE, 2023)



- **Cantidad máxima de servicios hora pico actualmente:** En las inmediaciones del intercambiador Belloni se obtiene la mayor cantidad de servicios hora con aproximadamente 130 frecuencias por hora.
- **Nodos de integración de importancia**
 - Intercambiador Belloni
 - Pan de Azúcar
 - Tres Cruces

2.3. Corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio

El corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio, con una extensión aproximada de 27 kilómetros, constituye uno de los principales ejes estructurantes del sistema de movilidad del AMM, funcionando como el acceso desde el este. Se posiciona como el tercer corredor más relevante del sistema de transporte público de Montevideo en términos de demanda, detrás de 8 de Octubre – Cno. Maldonado y Agraciada.

Este eje, junto con su prolongación hacia el oeste por Av. 18 de Julio, vincula el área central de Montevideo con la Ciudad de la Costa, uno de los sectores del país que ha registrado los mayores crecimientos poblacionales en las últimas décadas. En su recorrido atraviesa un territorio de marcada impronta metropolitana, articulando ámbitos pertenecientes a dos departamentos con autonomías administrativas diferenciadas, y conectando centralidades intermedias, grandes equipamientos urbanos y áreas residenciales de densidad media, así como sectores de tejido suburbano de carácter semiperiférico.

Desde el punto de vista vial, se trata de uno de los principales accesos vehiculares hacia y desde Montevideo, registrando volúmenes de circulación superiores a los 2.000 vehículos por hora y por sentido en períodos pico. Esta elevada intensidad de tránsito, combinada con el perfil socioeconómico de la población del área de influencia, puede representar un escenario con potencial de cambio modal hacia el transporte público, dependiendo del tipo de solución implementada en términos de calidad, confiabilidad y tiempos de viaje.

Una característica diferencial del eje Avenida Italia – Avenida Giannattasio es la disponibilidad de un ancho vial significativo, que permite alojar un corredor segregado de transporte público. Esta condición física habilita la reorganización jerarquizada del espacio vial y la implementación de un sistema de transporte público de alta frecuencia y capacidad, capaz de convivir de manera más eficiente con el resto de los modos. En este sentido, la incorporación de un corredor estructurante de transporte público se



apoya en el aprovechamiento de su potencial geométrico, contribuyendo a ordenar los flujos, reducir conflictos y mejorar el desempeño general del sistema en un eje que actualmente concentra múltiples tensiones funcionales y urbanas.

En el *Proyecto de Movilidad Metropolitana. Derecho a la movilidad/Derecho al espacio público* (FADU, 2025) se propone la reconfiguración integral del corredor Italia – Giannattasio mediante la implantación de un carril exclusivo central por sentido, en superficie, destinado a la circulación de líneas troncales. Se exceptúan los cruces con Av. Bolivia, Bvar. Batlle y Ordoñez y Av. Luis A. Herrera, donde se plantean pasos soterrados para garantizar la continuidad operativa del sistema.

El esquema contempla la operación de servicios troncales con distintas extensiones, definidas en función de la demanda de viajes, junto con la reestructuración de las rutas actuales para su funcionamiento como líneas alimentadoras en nodos estratégicos del corredor, tales como El Pinar, Costa Urbana, Barradas, Portones e Hipolito Irigoyen.

En relación con el tránsito general se prevé la disposición de tres carriles por sentido entre Tres Cruces y la calle Gallinal, reduciendo a dos por sentido desde dicho punto y hasta El Pinar. Esta configuración se complementaría con la incorporación de infraestructura para la movilidad activa a lo largo del corredor.

De acuerdo con este esquema operativo, y considerando la prolongación del corredor por 18 de Julio hasta Plaza Independencia, se establecen el siguiente parámetro de diseño, que también sirven de base para la demanda/capacidad de referencia para los análisis posteriores del presente estudio (FADU, 2025):

- Pasajeros esperados en la sección de máxima demanda: **2.500 phs.**

Los diferentes ejes que conforman el corredor presentan características particulares que se describen a continuación.

2.3.1. Avenida Giannattasio

- **Extensión:** 16 kilómetros entre Arroyo Pando y Arroyo Carrasco (límite departamental Montevideo y Canelones)
- **Secciones tipo:**
 - **Ancho total:** El corredor presenta secciones entre 27 y 50m, en lo general, con una amplitud mayor a 60m en algunos tramos del corredor.
 - Dos calzadas principales para tránsito general por sentido separada entre sí por un cantero central, y dos colectoras unidireccionales (paralelas) con dos carriles cada una separada por cantero central de las calzadas principales.



- Las paradas de transporte público se encuentran localizadas en los canteros que separan la calzada principal de la colectora
- **Cantidad de intersecciones.** 29 intersecciones que permiten el cruce de la calzada principal de lado a lado, de las cuales 17 (59%) reguladas por semáforo
- **Transporte Público**
 - **Cantidad de Líneas:** Dentro del eje circulan 23 líneas de transporte público, 6 urbanas Canelones y 17 suburbanas, destacando que no todas ellas recorren la totalidad del corredor.
 - **Distancia entre paradas:** 460m
 - **Cantidad máxima de servicios hora pico:** 46
 - **Nodos de integración de importancia:**
 - Aunque no se presentan volúmenes de integración de rutas y pasajeros como en el corredor 8 de Octubre, existen algunos puntos con características destacadas:
 - Geant
 - Centro Cívico y centro comercial Costa Urbana

2.3.2. Avenida Italia

- **Extensión:** 12 kilómetros entre Arroyo Carrasco (límite departamental Montevideo y Canelones) y Tres Cruces
- **Secciones tipo:**
 - Ancho total: Con una sección crítica cercano al nodo de Tres Cruces con disponibilidad de 22m de sección vial, el corredor presenta secciones relativamente homogéneas de entre 30 y 35m, sin considerar veredas.
 - Tres carriles de circulación para tránsito general por sentido / Dos calzadas principales para tránsito general por sentido separada entre sí por un cantero central, y dos colectoras unidireccionales (paralelas) con dos carriles cada una separada por cantero central de las calzadas principales.
 - Solo bus en los tramos comprendidos entre Bulevar General Artigas y Manuel Albo / Avenida Ricaldoni, y entre Escuder Núñez / Las Heras y Avenida Bolivia.
 - Aceras con paradas de transporte público.
 - Cantero de central de ancho variable con bicisenda bidireccional.
- **Intersecciones.**
 - Existen 43 intersecciones que permiten el cruce de la calzada principal de lado a lado, de las cuales 25 (58%) se encuentran reguladas por semáforo.
 - Cruces de importancia:



- Av. Bolivia
- Bv. José Battle y Ordoñez
- Av. Luis A. Herrera
- Túnel Avenida Centenario / Garibaldi
- Av. Ricaldoni / Albo
- **Transporte Público**
 - **Cantidad de Líneas:** Dentro del eje circulan 32 líneas de transporte público, 8 urbanas y 24 suburbanas, destacando que no todas ellas recorren la totalidad del corredor.
 - **Distancia entre paradas actuales:** 550 m
 - **Cantidad máxima de servicios hora pico:** 48 frecuencias por hora.
 - **Nodos de integración de importancia:**
 - Portones
 - Hipolito Irigoyen
 - Comercio/ Av. Solano López
 - Luis Alberto de Herrera
 - Tres Cruces

2.4. Av. 18 de Julio

La avenida 18 de Julio constituye el principal eje cívico y funcional de Montevideo, concentrando una proporción significativa de las actividades administrativas, comerciales, culturales y de servicios de mayor jerarquía urbana. Asimismo, funciona como uno de los accesos fundamentales al área histórica de la Ciudad Vieja y como articulador del acceso al área central desde los principales corredores radiales del AMM, en particular los ejes 8 de Octubre – Camino Maldonado y Av. Italia–Giannattasio, consolidándose como un tramo estratégico de la red estructurante del transporte público.

En el estudio de *Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica* (CSI, 2025) para este eje se encuentran en evaluación diferentes escenarios de tipos de infraestructura (soterrado total o parcial y en superficie), configurando en todos ellos un corredor con un carril exclusivo por sentido y paradas centrales.

Como principales características del eje se destacan:

- **Extensión:** 3 kilómetros entre Tres Cruces y Plaza Independencia
- **Secciones tipo:**
 - Ancho total: Mínimo de 24,7 metros (entre Zelmar Michelini/Cuareim y Plaza Independencia) y máximo de 28,1 entre (Tres cruces y Amorín), sin embargo,



cundo se analiza la sección vial actual, el espacio disponible oscila entre los 14 y 16m.

- Dos o tres carriles de circulación para tránsito general por sentido
- Aceras con paradas de transporte público
- Ciclovía central bidireccional entre Tres Cruces y Campo Quijano/ Yi.

- **Intersecciones**

- 31 intersecciones, todas ellas regulados por semáforo
- Cruces de importancia:
 - En general todos los cruces son de alta densidad vial y peatonal, lo cual se puede evaluar desde el ciclo semafórico que actualmente se presenta, el que corresponde a un ciclo corto de 66 segundos con entre 52 y 55% de la fase semafórica para el Corredor 18 de Julio (aproximadamente). Esto significa que el corredor tiene que compartir prioridad con las diferentes intersecciones viales.
 - Integración con Corredor 8 de Octubre.
 - Integración con Avenida Constituyente en intersección Dr. Javier Barrios Amorín.
 - Intersección con Plaza Independencia.
- Como particularidad se registraron en promedio dos cortes semanales (principalmente por manifestaciones y eventos culturales y/o políticos, así como accidentes y otros)

- **Transporte Público**

- **Cantidad de Líneas:** 27 líneas urbanas. Confluencia principal de los corredores Avenida 8 de Octubre / Camino Maldonado y Avenida Italia / Giannattasio.
- **Distancia entre paradas:** 410 m actuales
- **Cantidad máxima de servicios hora pico:** 117 frecuencias por hora.
- **Velocidades:** 11 - 13 km/h en hora pico.
- **Nodos de integración de importancia:**
 - Presidencia de la República Oriental del Uruguay – Plaza Independencia
 - Sede Intendencia de Montevideo (Ejido)
 - Ciudad Vieja (centro administrativo y cultural del AMM)
 - Espacios culturales (concentración de teatros y museos)
 - Oficinas públicas principales (Banco República, Banco Hipotecario, DGI, BPS, entre otros)
 - Centros educativos en nivel primario, secundario y terciario



- Área central de Montevideo con alta actividad administrativa, comercial cultural y de servicio, principalmente en el tramo de aproximadamente 2.200 m comprendido entre Fernández Crespo y Plaza Independencia.

2.4.1. Ciudad Vieja

El tramo correspondiente a Ciudad Vieja constituye el segmento terminal occidental del sistema estructurante de la primera etapa del PTTMM. Se trata de un ámbito urbano en el que los servicios de transporte recorren un circuito de aproximadamente 1,5 km de longitud en sentido este-oeste, caracterizado por una trama histórica consolidada, secciones viales estrechas, alta densidad patrimonial y una intensa actividad peatonal asociada a usos administrativos, comerciales, turísticos y culturales.

Desde el punto de vista funcional, este tramo representa un importante destino de viajes del sistema metropolitano, concentrando actividades de gobierno, servicios financieros, comercio tradicional y equipamientos urbanos estratégicos.

La configuración prevista contempla un esquema de circulación en “circuito” a través de las calles 25 de Mayo (sentido este), Lindolfo Cuesta (sentido sur) y Reconquista o Buenos Aires (sentido oeste), lo que permitirá dar continuidad a algunos servicios del sistema troncal dentro de un tejido urbano de alta complejidad espacial y restricciones geométricas relevantes.

En términos operativos, Ciudad Vieja presenta condiciones particulares que influyen directamente en el diseño del corredor: coexistencia con tránsito vehicular local, elevada demanda peatonal, presencia de actividades de carga y descarga, y limitaciones físicas derivadas del ancho de calzada y la protección patrimonial del entorno.

Dada sus características urbanas y espaciales actuales, los proyectos de transformación del transporte público deberán implementar algún tipo de conexión de los corredores troncales con el tramo Ciudad Vieja, para garantizar la accesibilidad y conectividad con los deseos de viaje, evitando configuraciones que introduzcan maniobras complejas e infraestructura pesada característica de los sistemas de tránsito rápido.



3. Caracterización conceptual de las alternativas modales

Este capítulo presenta una caracterización conceptual de las principales alternativas de modos de transporte de mediana y alta capacidad, ya consagradas y con amplia consolidación a partir de su implementación en distintas ciudades del mundo, con el objetivo de establecer un marco de referencia común para el análisis comparativo posterior. La caracterización de los distintos tipos de sistemas de transporte abordados aquí se apoya en experiencias internacionales, *benchmarking* regional, con especial énfasis en América Latina, y literatura técnica especializada. El análisis se orienta a identificar las principales capacidades, ventajas, limitaciones y condiciones de aplicabilidad de cada modo en corredores urbanos estructurales.

La selección de una tecnología de transporte adecuada para un eje de transporte estructurante de una ciudad implica equilibrar las necesidades y expectativas de la población, en términos de cobertura, calidad y localización de los servicios, con consideraciones técnicas, económicas, urbanas e institucionales, tales como los costos de inversión y operación, los beneficios esperados y las restricciones físicas y operativas del entorno urbano. Asimismo, las condiciones y las preferencias locales pueden jugar un papel significativo en determinar el tipo de sistema preferido.

Un aspecto central en este proceso es definir las características físicas y operacionales de la solución seleccionada para un determinado corredor pensándolo siempre como parte de un sistema más amplio, considerando cuidadosamente la integración, la interoperabilidad y las complementariedades con el resto de la red de transporte y los servicios que allí funcionan dando cobertura al resto de la ciudad. Como parte de esa preocupación es fundamental evaluar la flexibilidad y la escalabilidad de los sistemas de transporte. En muchas ciudades, las velocidades y niveles de servicio del transporte público pueden ser aceptables en gran parte del territorio, pero presentan déficits significativos en sectores específicos, como áreas centrales congestionadas. En estos casos, puede ser necesario implementar soluciones de mayor capacidad y desempeño en tramos puntuales, sin que ello implique necesariamente extender dichas soluciones a toda la red. No obstante, los distintos modos de transporte presentan longitudes mínimas de operación económicamente eficientes y efectivas como componentes de una red de transporte más amplia. Esas longitudes mínimas están asociadas a factores como los costos de estaciones, material rodante, infraestructura, derechos de paso y sistemas de control, bien como por el rol que logren cumplir sinérgicamente con los demás servicios



de transporte, sin imponer barreras o dificultades excesivas para los pasajeros en la integración y la realización de transbordos y para la operación. Algunos modos permiten implementaciones incrementales y en tramos relativamente cortos, generando beneficios desde etapas tempranas, mientras que otros requieren desarrollos más extensos para alcanzar niveles adecuados de eficiencia y retorno social. Asimismo, la expansión o evolución de modos existentes puede generar sinergias relevantes, al facilitar la integración operativa y el aprovechamiento de infraestructura y servicios previamente instalados.

Por otra parte, es importante reconocer que toda inversión pública en transporte masivo es, en última instancia, una decisión de carácter político y de política de Estado, que requiere un mandato explícito y un grado suficiente de aceptación social. La viabilidad de cada alternativa no depende únicamente de su desempeño técnico, sino de su alineación con las prioridades estratégicas y financieras del gobierno. En este sentido, la elección tecnológica impone horizontes temporales distintos: mientras que los sistemas basados en ómnibus (BRT) pueden planificarse e implementarse dentro de un mismo período de gobierno, los sistemas guiados de alta capacidad (LRT o Metro) exigen tiempos de maduración, estructuración financiera y construcción que necesariamente trascienden múltiples administraciones. Esto último obliga a consolidar acuerdos políticos multipartidarios a largo plazo para asegurar la continuidad de los fondos y evitar la paralización de las obras. Asimismo, el éxito del proyecto está intrínsecamente ligado a la capacidad institucional para gestionarlo. La adopción de nuevas tecnologías requiere entes reguladores fortalecidos, como la reciente creación de la Agencia Metropolitana de Movilidad, capaces de administrar contratos complejos, reestructurar a los operadores existentes y garantizar que el nuevo sistema cuente con el respaldo ciudadano necesario para su sostenibilidad.

A nivel internacional, las soluciones de transporte masivo urbano más ampliamente implementadas corresponden a sistemas basados en corredores de ómnibus de alta capacidad (BRT), tren ligero (LRT) y tren pesado o metro (HRT). Cada uno puede ser diseñado, implementado y operado bajo distintos rangos y posibilidades de configuraciones operativas y niveles de segregación.

Además de estas tecnologías ya consolidadas como soluciones de transporte, existe una gama de otras tecnologías guiadas de capacidad intermedia probadas de forma más incipiente en un número mucho más reducido de casos, con distintos niveles de éxito en los resultados obtenidos. En ese grupo, pueden citarse por ejemplo los buses guiados, el monorriel y el aeromóvil, que son abordados de manera complementaria como referencias tecnológicas no convencionales.



A continuación, se presenta una caracterización de las alternativas modales realizada a un nivel conceptual, sin constituir estudios de prefactibilidad ni de ingeniería de detalle, y con especial atención a su potencial aplicabilidad en los corredores prioritarios del AMM.

3.1. Sistemas de ómnibus (BRT)

El *Bus Rapid Transit* (BRT) (ómnibus de tránsito rápido, en español) corresponde a un sistema de transporte masivo basado en vehículos sobre neumáticos que opera mediante infraestructura segregada y estándares operativos que pueden llegar a ser similares a los sistemas ferroviarios ligeros, a una fracción de su costo. Su lógica funcional combina elementos propios del ómnibus convencional, como la flexibilidad de circulación y adaptabilidad al entorno urbano, con principios de operación estructurada orientados a mejorar la capacidad, la velocidad comercial y la confiabilidad del servicio (ITDP, 2024).

El BRT se concibe como una solución de transporte capaz de estructurar corredores troncales de alta demanda sin requerir la rigidez física ni la intensidad de inversión asociada a los sistemas guiados (de rieles). Esta condición le permite operar tanto como eje troncal de la red como herramienta de transición hacia esquemas de transporte público más organizados, facilitando procesos graduales de reorganización del sistema existente (TCQSM, 2013).

La literatura internacional coincide en que no existe una única tipología de BRT ni una definición rígida que excluya claramente a los sistemas que no cumplen con alguno de los criterios generalmente considerados como característicos de estos sistemas. Sin embargo, los estudios coinciden en que los sistemas BRT mejoran su desempeño en la medida en que incorporan los elementos físicos y operacionales característicos de estos sistemas (Hidalgo, 2008), entre los que destacan:

- Carril segregado
- Sistema de prepago
- Estaciones cerradas y de mayor tamaño
- Abordaje a nivel
- Ómnibus de mayor tamaño
- Control centralizado y optimización operacional
- Servicios expresos

A diferencia de los sistemas ferroviarios, cuya lógica operacional tiende a concentrar la demanda en una infraestructura fija, el BRT permite integrar múltiples patrones de



servicio sobre un mismo corredor (servicios locales³, paradas limitadas o expresos) así como esquemas híbridos donde las rutas pueden ingresar y salir de la troncal. Esta característica amplía su capacidad de cobertura territorial y reduce la necesidad de transbordos obligatorios, manteniendo una mayor continuidad en los viajes de las personas usuarias (ITDP, 2024).

En términos de rol dentro de la red urbana, el BRT suele desempeñar funciones de corredor estructurante de superficie en contextos donde la demanda supera la capacidad del sistema convencional de ómnibus, pero aún no justifica inversiones propias de un metro pesado. De acuerdo con el ITDP (2024) su implementación resulta especialmente pertinente en ciudades que buscan mejorar la eficiencia operativa del transporte público mediante intervenciones escalables, con impactos progresivos sobre la organización del sistema y la calidad del servicio.

A nivel internacional, el BRT se ha consolidado como una de las tecnologías de transporte masivo con mayor expansión durante las últimas décadas. De acuerdo con *Global BRT Data* (2025), existen actualmente 191 ciudades en el mundo que cuentan con al menos un corredor en operación, acumulando más de 32 millones de viajes diarios. América Latina concentra una proporción significativa de estas experiencias, con 64 ciudades que han implementado sistemas BRT, equivalente a aproximadamente el 33,5 % del total global. Dentro de la región, Brasil lidera su adopción con 27 ciudades y cerca de 9 millones de pasajeros diarios, seguido por México con 12 ciudades y alrededor de 3 millones de viajes al día, consolidando al continente como uno de los principales laboratorios de desarrollo e innovación en este tipo de sistemas.

3.1.1. Tipologías

Los BRT no tienen un modelo único ni estandarizado, sino que cuentan con diversidad de configuraciones que pueden ajustarse a distintos niveles de demanda, condiciones urbanas y capacidades. Desde un punto de vista conceptual, es posible distinguir distintos niveles de desarrollo de sistemas BRT, que presentan desempeños operativos, costos e impactos urbanos significativamente diferentes.

Bajo este enfoque, los sistemas BRT pueden evolucionar desde esquemas de priorización básica del transporte público hasta configuraciones de alta capacidad con carriles centrales segregados, estaciones especializadas y operación troncal con servicios expresos. Esta gradación permite adaptar la solución tecnológica a distintas escalas de

³ Se entiende por servicios locales aquellos que hacen paradas en cada una de las estaciones.



demanda, evitando la adopción de diseños sobredimensionados o insuficientes respecto al contexto urbano analizado. En este estudio, la categorización de tipologías BRT se organiza a partir de niveles de capacidad operacional, con el objetivo de facilitar su comparación con otras alternativas modales consideradas.

- **BRT sin carril de sobrepaso** (3.000 a 15.000 phs):

Corresponde a configuraciones con carriles exclusivos centrales y estaciones con una única bahía de parada por sentido, sin carriles de sobrepaso. La operación se realiza bajo un esquema principalmente local, donde los ómnibus circulan en fila y deben esperar cuando una unidad se encuentra detenida en estación.

Este tipo de solución permite mejorar la velocidad comercial respecto al transporte convencional mediante segregación física y priorización semafórica, manteniendo requerimientos moderados de infraestructura y espacio vial. Sin embargo, la ausencia de adelantamientos limita la implementación de servicios expresos y la capacidad máxima del corredor.

- **BRT con carril de sobrepaso** (15.000 a 45.000 phs y superiores)

Incorpora carriles de sobrepaso en estaciones, lo que permite ampliar la sección transversal del corredor y habilitar operaciones mixtas de servicios locales, limitados y expresos. Esta configuración reduce la saturación en paradas y aumenta significativamente la capacidad del sistema.

Puede incluir separación a desnivel en intersecciones críticas y mayores niveles de segregación física. En configuraciones excepcionales, con estaciones de múltiples subparadas y alta proporción de servicios expresos, es posible alcanzar niveles cercanos a 45.000 pasajeros por hora por sentido, aunque estos escenarios son poco frecuentes en sistemas BRT.

Para el presente estudio, considerando los rangos de demanda esperados, el análisis técnico para efectos de comparación entre alternativas se realizará sobre la opción del BRT sin carril de sobrepaso.

3.1.2. Requerimientos de infraestructura y sección transversal

Derecho de vía: Requiere un carril exclusivo segregado ubicado en el separador central para minimizar la fricción marginal con vehículos estacionados y movimientos de giro del tráfico mixto. Sin carriles de sobrepaso.

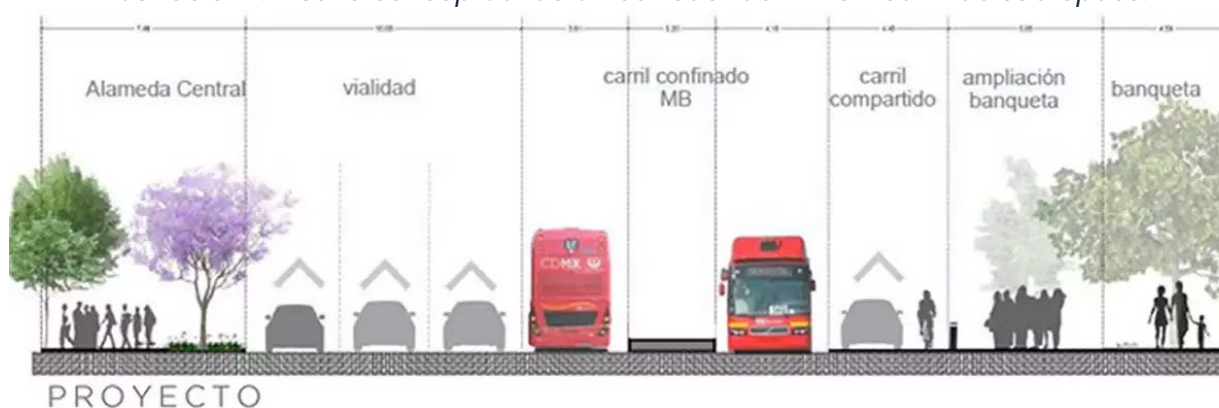
Sección transversal: Un corredor estándar (un carril por sentido más la estación central) demanda una sección transversal exclusiva de entre 10 a 11 m de ancho (sin contabilizar



el espacio adicional para veredas). Este rango corresponde a configuraciones de capacidad media sin carriles de sobrepaso, donde la geometría de estación constituye el punto crítico de diseño.

- **Carril de circulación:** 3,5 m por cada sentido.
- **Carril en zona de aproximación a estación:** 3,0 m
- **Separadores físicos:** 0,5 m de ancho a cada lado del corredor
- **Carriles de tráfico mixto:** Entre 3,0 y 3,5 (es necesario considerar si circulan vehículos pesados en la vía)
- **Plataforma:** Entre 2,5 m y 5,0 m

Ilustración 1. Diseño conceptual de un corredor de BRT sin carril de sobrepaso.



Fuente: Obtenido de Semovi, CDMX, semovi.cdmx.gob.mx, 2019

Bahías en estaciones: Al no tener carriles de sobrepaso, las estaciones suelen configurarse típicamente con una sola posición de parada por dirección.

Material de la vía: Pavimento rígido, por lo menos en el área de estaciones, que pueda soportar las cargas pesadas, frenados y arranques, previene la deformación plástica (ahuellamiento) y garantiza que se mantenga la tolerancia geométrica vertical entre la plataforma y el vehículo.

Gestión de intersecciones: Depende fuertemente de la restricción de giros a la izquierda para el tráfico mixto y del uso de semáforos de dos o tres fases, o prioridad semafórica para garantizar el flujo continuo, ya que una demora afecta a toda la fila de ómnibus.

Longitud del corredor: Mínimo 3 km para ser considerado funcional. Los beneficios urbanos y operativos se maximizan en corredores a partir de los 10 km.

Pendientes longitudinales: Los ómnibus, tanto aquellos de tecnología diésel como eléctrica, presentan requerimientos de potencia y torque que les permitan en la práctica superar pendientes del 10% a 12% en condición de carga, debido a las características



reales que prevalecen en las realidades de los contextos urbanos de Latinoamérica. Actualmente, las opciones de tecnologías vehiculares tienen la capacidad de superar estas pendientes y los vehículos, en general, son probados y homologados frente a este requerimiento técnico.

Distancia entre estaciones: La distancia estándar es de 500 m, sin embargo, según las configuraciones locales, la distancia puede ser de hasta 1.000 m.

Patios de resguardo y talleres: Su ubicación presenta alta flexibilidad, ya que no requieren conexión física directa con el corredor troncal. Sus dimensiones dependen del tamaño de la flota, la tipología de vehículos y el nivel de mantenimiento previsto. Desde una perspectiva operativa, pueden localizarse estratégicamente en áreas periféricas, zonas industriales o próximas a terminales, con el objetivo de optimizar la logística de operación.

Segregación del derecho de vía: En el caso del BRT, la segregación del derecho de vía tiene un carácter fundamentalmente operativo. Desde el punto de vista tecnológico, los ómnibus pueden circular en tráfico mixto, ya que comparten la misma infraestructura vial y características mecánicas que los vehículos particulares. **Sin embargo, cuando el objetivo es operar un sistema de alta capacidad, con frecuencias elevadas, regularidad y velocidades comerciales competitivas, la segregación física del carril se vuelve una condición indispensable.**

La necesidad de confinamiento central en un BRT estructural responde a la vulnerabilidad del ómnibus frente a la congestión y a las interferencias del tránsito general. Sin carriles exclusivos físicamente protegidos, el sistema pierde velocidad, aumenta la variabilidad en los tiempos de viaje, se incrementan los fenómenos de agrupamiento (*bunching*) y se reduce la capacidad efectiva del corredor. En este sentido, la segregación no es una exigencia tecnológica, sino una condición necesaria para garantizar el desempeño operativo que define a un sistema BRT de alto estándar. A menor nivel de segregación, el sistema deja de comportarse como un corredor estructural de alta capacidad y pasa a funcionar como un esquema de prioridad parcial. **En consecuencia, a mayores garantías de segregación y respeto al derecho de vía del BRT, mejores serán los resultados de capacidad, confiabilidad, seguridad vial y tiempo de viaje del proyecto.**

3.1.3. Tipología vehicular (ómnibus biarticulado)

El diseño operativo de un sistema BRT admite distintas tipologías vehiculares, desde minibuses para servicios alimentadores hasta ómnibus estándar (12 m) y unidades articuladas (18,5 m) para los corredores troncales, en función de la demanda y la



configuración del corredor. Entre ellas, los vehículos biarticulados (24–27 m) permiten maximizar la capacidad estructural del sistema, al transportar entre 240 y 270 pasajeros por unidad y aumentar significativamente el rendimiento operativo del corredor.

Tomando como premisa la configuración planteada en los estudios existentes, que atienden al criterio de maximización de la capacidad de transporte instalada, se adoptó la utilización de ómnibus biarticulados para el presente análisis:

Longitud: 25 m

Capacidad: 220 pasajeros

Interfaz vehículo-estación: Se establece abordaje a nivel (plataforma alta y vehículos de piso bajo), con tolerancias geométricas controladas para optimizar los flujos de ascenso y descenso y reducir tiempos de detención.

Configuración de accesos: Las unidades deben incorporar múltiples puertas anchas en el lateral izquierdo, compatibles con estaciones centrales y operaciones de flujo bidireccional simultáneo.

3.1.4. Parámetros operativos

Estructura de servicios: Al no contar con carriles de sobrepaso en las paradas, la infraestructura imposibilita físicamente que un vehículo adelante a otro. Como resultado, el sistema queda restringido a operar servicios expresos, lo que significa que todos los ómnibus deben avanzar en fila y detenerse obligatoriamente en todas las estaciones

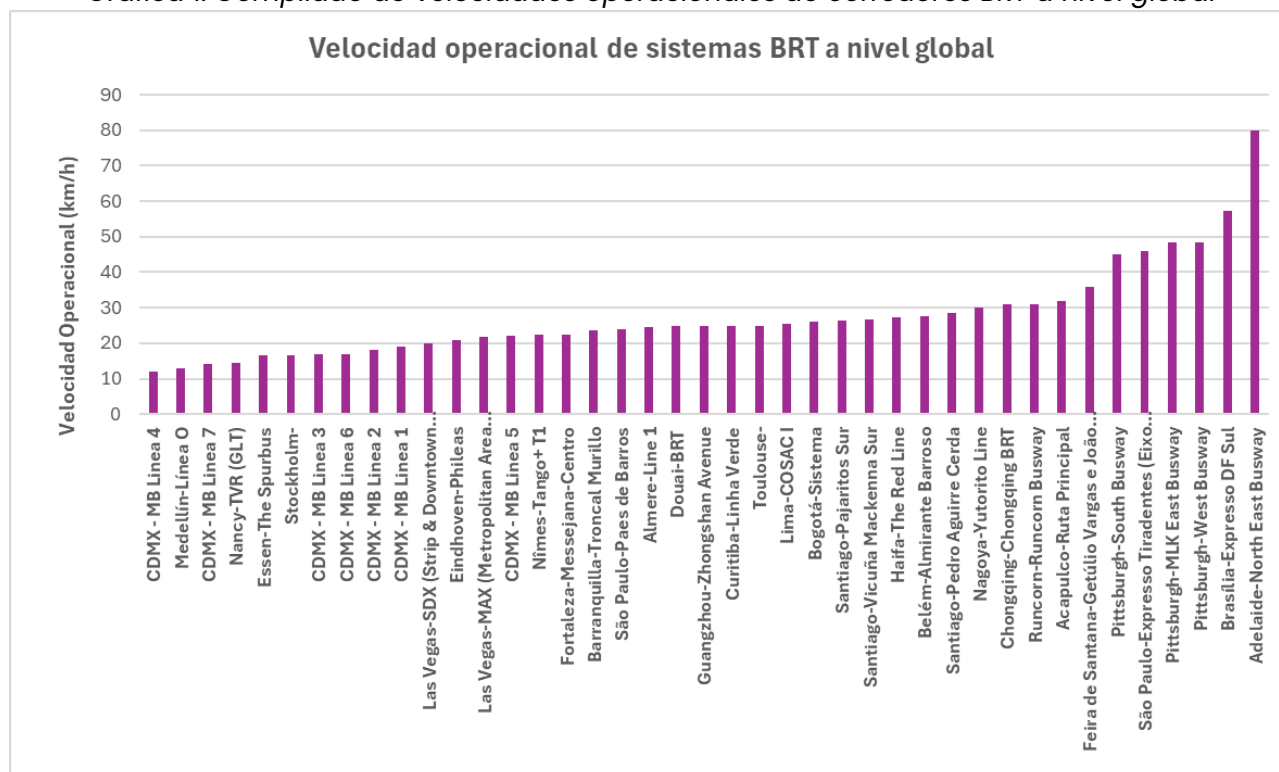
Velocidad operacional: La velocidad promedio (contabilizando las demoras en estaciones y semáforos) se presenta dentro de un amplio rango en los resultados debido a la variabilidad de condiciones de infraestructura y operación bajo las cuales han sido implementados los diferentes sistemas BRT al rededor del mundo. Sin embargo, la literatura es clara enfatizar que:

- En tramos de alta densidad de estaciones intersecciones y carril segregado sin rebase, las velocidades suelen ser menores que 18 km/h.
- Corredores fuera de centros urbanos de alta densidad de interferencias con intersecciones entre 500 m y 1 km pueden aumentar su velocidad entre 18 y 25 km/h operando con carril segregado sin rebase.
- La manera de mejorar el desempeño operación con velocidades superiores a 25 km/h es mediante la implementación de medidas como la segregación total del derecho de vía y sin intersecciones, la implementación de carriles de rebase y servicios expresos.



A continuación, se presenta un panorama de las velocidades comerciales de los sistemas BRT.

Gráfica 1. Compilado de velocidades operacionales de corredores BRT a nivel global



Fuente: Elaborado con base en BRTdata.org, brtguide.itdp.org y Definición, medición y gestión de la calidad de servicio del transporte público para ciudades de América Latina (Freiberg, et.al., 2022).

Frecuencia de intervalos: Existe consenso de que la frecuencia ejecutable por un BRT sin sobrepase es de 60 vehículos por hora, incluso con posibilidad de rebasar este valor sin generar pérdidas de capacidad por saturación de carril, pero esto también se encuentra influido por la cantidad de intersecciones semaforizadas, lo cual puede llegar a disminuir esta capacidad

Capacidad: Para un sistema sin rebase, en rangos de operación que no fomenten la saturación de carril-estación, se estima que se pueden alcanzar niveles de entre 11.000 y 13.000 phs, con la tipología vehicular de mayor capacidad (ómnibus biarticulado). Para sistemas con carril de rebase, las capacidades aumentan drásticamente con capacidades de hasta 45.000 phs, equiparando a algunos sistemas de metro (ITDP, 2017).

Tiempos de parada: En estos sistemas, el tiempo mínimo de espera corresponde a la apertura y cierre de puertas, con un valor típico mínimo de 7 s y que puede llegar a 30 s,



en función de la cantidad de pasajeros en la estación. Estas condiciones son posibles gracias a los sistemas de prepago, condiciones de acceso en plataforma y distribución de puertas en las unidades.

3.1.5. Implicancias urbanas y de implementación

Escalabilidad: Este sistema permite incrementar progresivamente la capacidad del corredor mediante ajustes operativos e infraestructura modular. Es posible ampliar el sistema incorporando carriles segregados adicionales, extendiendo tramos por fases, aumentando la capacidad del material rodante (articulado o biarticulado) o expandiendo estaciones mediante nuevas bahías de parada. Esta condición permite adaptar el sistema al crecimiento de la demanda sin requerir intervenciones estructurales continuas de gran escala.

Flexibilidad: El BRT presenta alta flexibilidad operativa, debido a su tecnología sobre neumáticos y a la ausencia de una infraestructura guiada rígida. Los vehículos pueden operar dentro del corredor exclusivo y, cuando el diseño lo permite, continuar en tráfico mixto mediante servicios directos o híbridos. Asimismo, la incorporación de carriles de sobrepaso posibilita combinar servicios locales, limitados o expresos, optimizando la velocidad comercial. Esta característica también mejora la resiliencia operativa, permitiendo desvíos ante incidentes o bloqueos sin interrumpir completamente la continuidad del servicio.

Tiempo de implementación: El sistema se caracteriza por plazos de implementación reducidos para un corredor (entre 18 y 36 meses) en comparación con otras alternativas de transporte masivo, debido al aprovechamiento de infraestructura vial existente y a la menor complejidad de las obras civiles requeridas. De acuerdo con el ITDP, la etapa de planificación integral puede desarrollarse en un periodo de 12 a 18 meses, mientras que la fase de construcción puede completarse en un rango de 12 a 24 meses, en función de la escala del proyecto y del contexto urbano. Experiencias internacionales evidencian que estos plazos pueden acortarse significativamente en entornos con alta capacidad técnica e institucional y un fuerte compromiso político, como fue el caso del BRT de Beijing (2006), cuya etapa de planificación se ejecutó en aproximadamente cinco meses. Estas condiciones permiten que la implementación de corredores BRT sea viable dentro del ciclo de una administración pública, constituyendo una de las principales ventajas del modo desde la perspectiva de la gestión de proyectos.

3.2. Sistemas de Tren Ligero (LRT)



El *Light Rail Transit* (LRT)⁴ (tren ligero, en español) corresponde a un sistema ferroviario eléctrico de transporte público metropolitano que opera mediante infraestructura parcial o totalmente segregada, ya sea en superficie, viaducto o túnel, utilizando vagones individuales o trenes cortos alimentados generalmente por catenaria aérea. Su lógica funcional representa una evolución del tranvía convencional orientada a mejorar la capacidad, la velocidad comercial y la regularidad del servicio (TCQSM, 2013).

Desde una perspectiva funcional, el LRT se posiciona como una tecnología intermedia dentro de una gama incremental que va desde el tranvía urbano convencional hasta configuraciones de metro ligero con mayor grado de segregación. No existe una frontera estricta entre tranvía y LRT, sino una transición gradual en la que el aumento de capacidad y velocidad comercial se asocia a mayores niveles de prioridad o separación respecto al tráfico general (ALAMYS, 2017).

En esta progresión, a medida que el sistema busca transportar mayores volúmenes de pasajeros por hora sentido, tiende a reducir el número de intersecciones a nivel, ampliar el espaciamiento entre estaciones y disminuir las interferencias operativas. Este proceso implica una menor convivencia directa con el entorno vial y peatonal (TCQSM, 2013). Las características tradicionales del tranvía, como su capacidad de frenado frecuente y su inserción en ámbitos urbanos con alta interacción, pierden relevancia cuando el sistema se orienta a mejorar continuidad operacional, regularidad y desempeño en corredores estructurantes.

En consecuencia, el LRT combina atributos urbanos del tranvía con elementos de mayor rigidez operativa propios de sistemas ferroviarios de capacidad intermedia. Si bien esta configuración reduce la flexibilidad para implementar adelantamientos o servicios expresos, fortalece la estabilidad, previsibilidad y eficiencia en contextos de demanda moderada a media-alta. En términos de rol dentro de la red urbana, suele desempeñar funciones estructurantes en corredores donde la demanda oscila típicamente entre 5.000 y 12.000 phs, dependiendo del grado de segregación adoptado (TCQSM, 2013).

A nivel internacional, el LRT ha experimentado una expansión sostenida durante las últimas décadas: actualmente existen 403 ciudades con sistemas en operación, concentrándose más del 52% en Europa y cerca del 20% en Eurasia (UITP, 2023). En contraste, América Latina mantiene una presencia aún limitada, alrededor del 2% del total global, con aproximadamente 130 km en operación distribuidos entre Argentina,

⁴ También es conocido como VLT – *Veículo Leve sobre Trilhos*, en portugués (vehículo leve sobre rieles, en español).



Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y México, siendo Brasil el principal referente regional con 9 ciudades implementando el sistema, sumando cerca de 64km (ITDP, 2022).

Dentro de las experiencias más relevantes de la región destacan Río de Janeiro y Santos, en Brasil (VLT Carioca y VLT da Baixada Santista); Ciudad de México, en México (Tren Ligero); Medellín, en Colombia (Tranvía de Ayacucho); y Cuenca, en Ecuador (Tranvía). Estas implementaciones evidencian desempeños positivos en términos urbanos y ambientales, aunque con costos de inversión y requerimientos institucionales y de planificación significativamente mayores en comparación con sistemas BRT.

3.2.1. Tipologías

Sus configuraciones se diferencian principalmente por el grado de segregación física respecto al tráfico general y por el ámbito funcional de operación (urbano o regional).

Desde una perspectiva de planificación y operación ferroviaria urbana, las tipologías de LRT pueden agruparse en las siguientes categorías (Zamorano et al., 2006):

- **LRT de superficie con segregación parcial o en tráfico mixto:** Opera a nivel de calle compartiendo el derecho de vía con otros modos motorizados o con el entorno peatonal. Es frecuente en centros urbanos consolidados, donde las velocidades comerciales son moderadas y la prioridad urbana recae en la integración paisajística y la accesibilidad.

Debido a la interacción constante con intersecciones y flujos urbanos, su capacidad suele mantenerse en rangos aproximados de 4.000 a 6.000 phs. Habitualmente emplea vehículos de piso bajo para facilitar el abordaje desde andenes laterales o aceras.

- **LRT de superficie con derecho de vía exclusivo:** Corresponde a configuraciones donde el sistema opera sobre infraestructura segregada a nivel del suelo, limitando la interacción con el tráfico mixto únicamente a intersecciones controladas. La prioridad semafórica y los sistemas de señalización ferroviaria permiten mejorar la regularidad y alcanzar velocidades comerciales superiores a las del tranvía en tráfico mixto. Bajo esta configuración, la capacidad operativa suele situarse en rangos de 10.000 a 12.000 phs, dependiendo del material rodante y la frecuencia de operación.
- **LRT totalmente segregado o con separación a desnivel:** Se implementa cuando los requerimientos de velocidad, frecuencia y confiabilidad exceden las posibilidades del entorno superficial. Opera sin cruces a nivel, mediante túneles, trincheras o viaductos elevados, reduciendo significativamente las interferencias



externas. Este esquema permite alcanzar desempeños operativos cercanos a los de un metro pesado, con mayores velocidades comerciales y niveles elevados de regularidad, aunque con costos de infraestructura sustancialmente superiores.

3.2.2. Requerimientos de infraestructura y sección transversal

Derecho de vía: Requiere de una plataforma reservada o de segregación física, preferentemente en el separador central, para asegurar la estabilidad operativa y la seguridad del sistema. Aunque tecnológicamente puede operar en calles compartidas con tráfico mixto, la ausencia de segregación reduce significativamente la velocidad comercial e incrementa la exposición a incidentes, ya que, al estar guiado por rieles, el vehículo no puede modificar su trayectoria para evitar obstáculos.

Sección transversal:

Un corredor estándar en superficie (vía doble más estación central) demanda un espacio exclusivo aproximado de 11 a 13,5 m de ancho, insertándose típicamente en perfiles de calle de 24 a 30 m totales, incluyendo aceras y carriles mixtos.

- **Vía de circulación (incluyendo gálibo dinámico):** 3,0 m a 3,5 m por cada sentido.
- **Plataforma de vía doble:** 6,5 m a 7,5 m (con separación entre ejes de vía de aproximadamente 3,2 a 3,6 m).
- **Separadores físicos o márgenes de seguridad laterales:** 0,3 m a 1,0 m a cada lado del corredor.
- **Plataforma central:** Entre 4,0 m y 6,0 m de ancho, con longitudes típicas de andén entre 30 y 60 metros.
- **Andenes laterales:** Mínimo entre 2,5 m y 3,0 m de ancho.

Configuración en estaciones: La capacidad de rebase o sobrepaso es prácticamente nula. La operación está estrictamente condicionada por la vía férrea, por lo que los trenes circulan en secuencia y deben detenerse si el tren precedente lo hace. Esto limita la configuración habitual a una única vía de parada por dirección, salvo inversiones adicionales en infraestructura cuádruple.

Material de la vía: Requiere infraestructura ferroviaria permanente compuesta por rieles, agujas, fijaciones y una plataforma estructural de soporte (balasto o losa de concreto en entornos urbanos). El sistema demanda además infraestructura de electrificación



continua, típicamente mediante catenaria aérea para el suministro seguro de energía de tracción.

Longitud del corredor: El estándar en América Latina es entre 5 y 8 km para ser considerado funcional. Los beneficios urbanos y operativos se maximizan en corredores a partir de los 10 km o más como un umbral donde LRT puede empezar a ser competitivo frente a modos de menor costo.

Pendientes longitudinales: Las condiciones de adherencia rueda-riel limitan el trazado geométrico. En términos generales, se recomienda diseñar pendientes $\leq 4\%$ – 5% , admitiendo tramos puntuales hasta aproximadamente 6% y valores excepcionales cercanos a 7% dependiendo de la tecnología del material rodante.

Distancia entre estaciones: En entornos urbanos, la separación típica oscila entre 500 m y 1.600 m, aunque puede variar según la densidad del corredor y el rol funcional del sistema dentro de la red. Una distancia corta entre estaciones impacta en la velocidad del sistema,

Patios de resguardo y talleres: Presentan alta rigidez espacial y deben estar obligatoriamente conectados físicamente a la red mediante rieles. Los depósitos requieren vías internas, agujas, electrificación, fosas de mantenimiento y equipamiento electromecánico especializado, lo que implica mayores requerimientos de superficie y complejidad operativa respecto a los patios de ómnibus.

Segregación del derecho de vía: En los sistemas de tranvía o LRT en superficie, la segregación del derecho de vía responde a una lógica funcional y de seguridad. A diferencia del ómnibus, el vehículo ferroviario está guiado sobre rieles y no puede modificar su trayectoria para evitar obstáculos, lo que introduce mayores exigencias en términos de seguridad y control de interferencias. **Si bien el tranvía puede operar con cruces a nivel y coexistir parcialmente con el entorno urbano, la ausencia de segregación reduce su velocidad comercial, incrementa los riesgos de interacción con otros modos y afecta la confiabilidad del servicio.**

En corredores estructurales con alta demanda y frecuencias reducidas, la segregación física mediante plataforma reservada central se vuelve altamente recomendable para asegurar estabilidad operativa. A medida que aumenta la capacidad del sistema y se reducen los intervalos entre trenes, la segregación deja de ser únicamente una mejora de desempeño y pasa a constituir una condición funcional para mantener niveles adecuados de seguridad y regularidad. En este caso, la segregación tiene un carácter mixto: responde tanto a necesidades operativas como a requerimientos inherentes a la tecnología ferroviaria ligera (TCQSM, 2013).



3.2.3. Tipología vehicular

El diseño operativo de un sistema LRT admite distintas tipologías vehiculares y modularidades de trenes cortos compuestos por múltiples módulos articulados (por lo general trenes de dos a tres vagones) que varían entre los 28 y 49 m, en función de la demanda y la morfología del corredor. Entre estas opciones, la configuración mediante vehículos ferroviarios articulados de gran longitud permite maximizar la capacidad estructural del sistema, transportando volúmenes de pasajeros notablemente superiores a los ómnibus convencionales y aumentando significativamente la eficiencia del servicio.

Longitud: En este estudio se retoma el modelo de Alstom Citadis de 33 m, con 5 módulos, el cual es usado en ciudades de América Latina como Cuenca, Ecuador (Alstom, 2020).

Capacidad: 290 pasajeros por unidad.

Interfaz vehículo-estación: Abordaje a nivel sin escalones mediante vehículos de piso bajo o parcialmente bajo. La alineación geométrica entre andén y vehículo optimiza los flujos de ascenso y descenso, reduce los tiempos de detención y facilita la accesibilidad universal.

Configuración de accesos: Los trenes bidireccionales incorporan puertas en ambos laterales, permitiendo operación compatible con andenes centrales o laterales y mejorando la eficiencia operativa en estaciones. Las unidades (33 m) cuentan con 12 puertas distribuidas, a lo largo de los módulos en ambos lados.

3.2.4. Parámetros operativos

Al operar sobre infraestructura fija de rieles y carecer habitualmente de vías de sobrepaso en estaciones, el sistema funciona principalmente bajo esquemas de servicios sin expresos. Los trenes circulan en secuencia sobre la misma vía y se detienen en todas las estaciones, lo que limita la implementación de servicios expresos o de paradas limitadas sin inversiones adicionales en infraestructura ferroviaria.

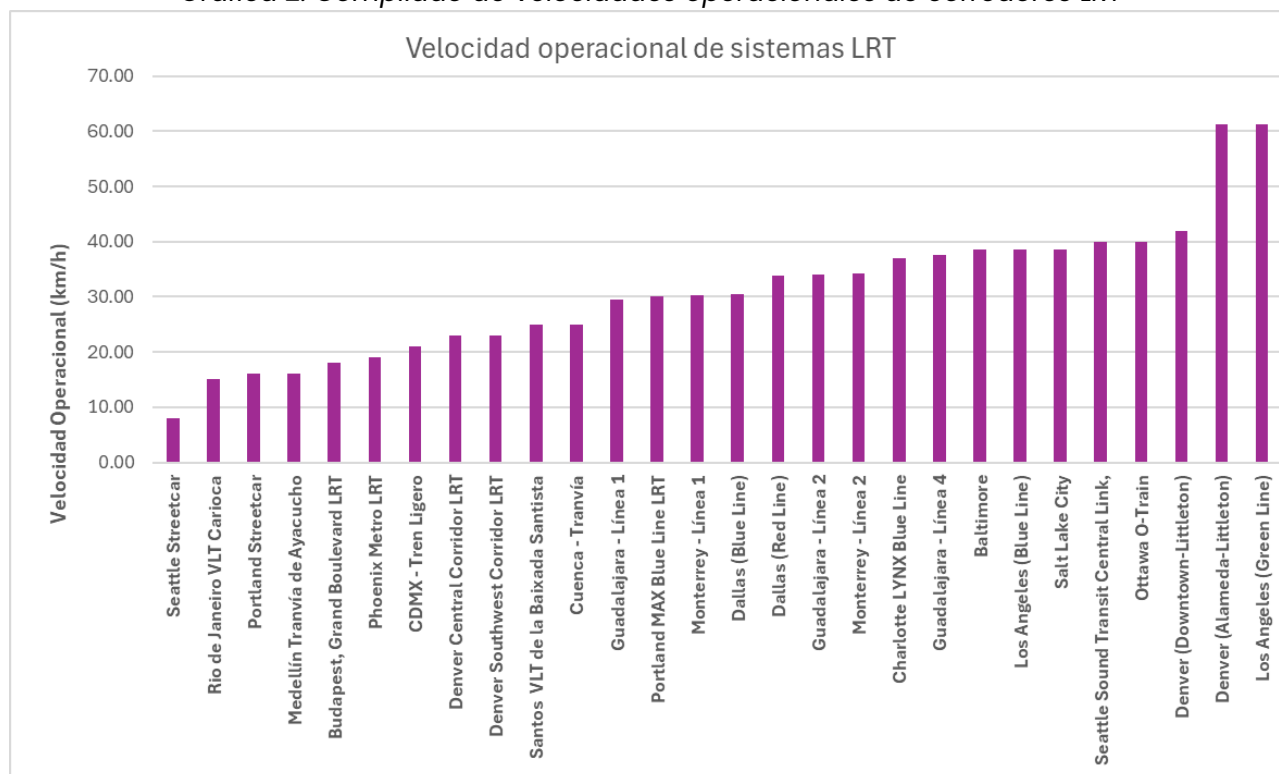
Velocidad operacional: Aunque los trenes tienen capacidad de alcanzar velocidades de hasta 70 km/h, las condiciones de vía y entorno en las que se implementen estos sistemas, sus velocidades comerciales tienden a ser significativamente menores y variables. En sistemas de superficie, la velocidad comercial promedio oscila entre 12 y 20 km/h. No obstante, cuando existe mayor segregación del derecho de vía, mayor



espaciamiento entre estaciones y prioridad semafórica efectiva puede alcanzar rangos aproximados de 18 a 40 km/h.

A continuación, se presenta un panorama de las velocidades comerciales de los sistemas LRT.

Gráfica 2. Compilado de velocidades operacionales de corredores LRT



Fuente: elaborado con base en brtguide.itdp.org, www.lightrailnow.org y levantamiento propio.

Pendiente máxima de diseño: Las condiciones de adherencia entre rueda y riel imponen restricciones geométricas relevantes al trazado. En términos generales, se consideran pendientes operativas recomendadas en el rango del 4% al 5%, con tramos excepcionales que pueden alcanzar entre 6% y 7%, dependiendo del material rodante y del sistema de tracción.

Capacidad: El rango operativo típico del LRT se sitúa en demandas moderadas, aproximadamente entre 5.000 y 12.000 phs en configuraciones urbanas a nivel. Capacidades superiores resultan complejas de sostener sin separación total de grado debido a las limitaciones operativas impuestas por intersecciones y distancias de frenado.



Frecuencia de intervalos: La frecuencia máxima está condicionada por la señalización ferroviaria y los ciclos semafóricos en cruces a nivel. Como referencia operacional, sistemas con prioridad semafórica pueden alcanzar aproximadamente 30 trenes por hora (intervalos cercanos a 2 min). Aunque la señalización ferroviaria actualmente permite un límite teórico de espaciamiento entre trenes de 90 s (minuto y medio), en muchos casos, este intervalo no es alcanzable por diversas condiciones de la configuración ferroviaria y la imposibilidad de desarrollar las velocidades de maniobra en condiciones de vía compartida y entorno abierto.

Tiempos de parada: En sistemas con abordaje a nivel, como la considerada en este análisis, el ascenso suele tomar entre 1,1 y 2,6 s por pasajero por puerta. En otros modelos, el descenso oscila entre 1,3 y 2,0 s, valores que aumentan significativamente cuando existen escalones o desniveles (ITDP, 2017).

3.2.5. Implicancias urbanas y de implementación

Escalabilidad: El sistema presenta una escalabilidad más rígida en comparación con la alternativa de buses. Debido a los elevados costos de capital y a la necesidad de infraestructura ferroviaria especializada, su implementación suele requerir segmentos continuos de cierta magnitud para justificar la inversión y alcanzar economías de escala operativas. Si bien la capacidad del servicio puede incrementarse mediante el acoplamiento de módulos adicionales o el aumento de frecuencias, la expansión física de la red, como la incorporación de nuevas estaciones, extensiones de trazado o construcción de apartaderos, implica intervenciones estructurales complejas y de alto costo.

Flexibilidad: El LRT presenta baja flexibilidad operativa debido a su dependencia de una infraestructura guiada fija: rieles y, por lo general, catenarias. Los trenes permanecen confinados a su trazado, lo que impide abandonar el corredor para extender cobertura sin infraestructura adicional. Asimismo, la ausencia habitual de vías de sobrepaso limita la operación principalmente a servicios locales; la incorporación de patrones expresos o de paradas limitadas requiere inversiones adicionales en apartaderos o vías dobles. Esta rigidez física también reduce la resiliencia operativa, ya que incidentes, bloqueos o averías en la vía pueden afectar la continuidad del servicio en toda la línea cuando esta opera en superficie (Zamorano et al., 2006).



Tiempo de implementación: Los plazos de implementación de LRT son considerablemente mayores que los modos de superficie sobre neumáticos, con horizontes típicos que oscilan entre 6 y 10 años desde la planificación hasta la puesta en marcha. La fase de estudios y estructuración financiera suele requerir entre 3 y 5 años, seguida por etapas de construcción igualmente extensas asociadas a la instalación de infraestructura ferroviaria, electrificación y reubicación de servicios urbanos. Estos tiempos frecuentemente exceden el ciclo de una sola administración pública, incrementando su exposición a riesgos institucionales y políticos (TCQSM, 2013).

Impacto y reestructuración urbana: A pesar de su mayor rigidez operativa, el LRT puede actuar como catalizador de transformación urbana ya que su adopción tiende a impulsar procesos de Desarrollo Orientado al Transporte, promoviendo densificación, renovación del espacio público y revalorización inmobiliaria en los entornos de las estaciones. Además, su operación eléctrica y silenciosa contribuye a mejorar la calidad ambiental y la imagen urbana, reforzando su posicionamiento como un modo de transporte de alto estándar.

3.3. Sistemas de Tren Pesado (HRT)

El *Heavy Rail Transit* (HRT) (metro o tren pesado) corresponde a un sistema ferroviario eléctrico de transporte público metropolitano de muy alta capacidad que opera sobre un derecho de vía completamente exclusivo y segregado, lo que implica requerimientos espaciales significativos, generalmente mediante infraestructura subterránea, elevada o en trinchera abierta. Su diseño elimina los cruces a nivel y permite la circulación de trenes de unidades múltiples de gran longitud, con estaciones de plataforma alta y abordaje a nivel, orientado a maximizar la capacidad, la velocidad operativa y la regularidad del servicio.

Desde una perspectiva funcional, el metro constituye la tecnología de mayor escala dentro del transporte masivo urbano, destinada a corredores de demanda extremadamente elevada. Su implementación implica niveles de inversión significativamente superiores al resto de los modos por kilómetro, dependiendo de la complejidad de la obra de desnivel y las condiciones urbanas, así como procesos de planificación, estructuración financiera y construcción de largo plazo, lo que supone altos



requerimientos institucionales, financieros y técnicos para su desarrollo y operación. La separación total respecto al tráfico superficial elimina interferencias operativas y permite alcanzar elevados niveles de confiabilidad, velocidades comerciales sostenidas y alta frecuencia de servicio.

A diferencia de los sistemas de buses, la operación del metro se encuentra completamente condicionada por su infraestructura fija. La implementación simultánea de servicios expresos y locales es poco frecuente y requiere configuraciones complejas, como vías cuádruples o apartaderos especializados, lo que incrementa considerablemente los costos. No obstante, su completa segregación física lo hace prácticamente inmune a la congestión urbana, consolidándolo como el principal eje estructurante en redes metropolitanas de gran escala. En términos operativos, los sistemas metro suelen atender demandas del orden de 30.000 a 80.000 phs, con velocidades comerciales promedio entre 28 y 40 km/h (TCQSM, 2013).

A nivel internacional, el metro constituye el principal modo estructurante de transporte masivo en ciudades de alta densidad. De acuerdo con *Global Metro Figures 2024* (UITP), existen 202 ciudades con sistemas HRT en operación, lideradas por la región Asia-Pacífico, que concentra 86 redes y la mayor expansión reciente.

En América Latina, son 20 las ciudades cuentan con metro, equivalente a cerca del 10% del total global, sumando aproximadamente 1.080 km de infraestructura y 4.720 millones de pasajeros anuales. La expansión regional ha sido considerablemente más lenta en comparación con Asia-Pacífico, reflejando los altos costos de inversión y las complejidades institucionales asociadas a este modo (UITP, 2025).

Entre los sistemas más relevantes de la región (UITP, 2025) se encuentran Ciudad de México (México), São Paulo y Río de Janeiro (Brasil), Santiago (Chile), Buenos Aires (Argentina), así como redes más recientes en Lima (Perú), Panamá (Panamá), Quito (Ecuador) y Santo Domingo (República Dominicana).

3.3.1. Tipología

Las configuraciones del sistema metro se diferencian principalmente por la escala de su infraestructura, las características tecnológicas del material rodante y el ámbito funcional de operación (urbano o suburbano), manteniendo en todos los casos el principio fundamental de una estricta segregación del derecho de vía. Desde una



perspectiva de planificación y operación ferroviaria, estas tipologías pueden agruparse en las siguientes categorías (TCQSM, 2013):

Metro pesado (*Heavy Rail Transit – HRT*): Opera sobre una infraestructura completamente segregada y separada a desnivel, ya sea en túneles subterráneos, estructuras elevadas o trincheras abiertas. Al no presentar cruces a nivel ni interacción con el tráfico superficial, utiliza trenes de unidades múltiples de gran longitud y alta capacidad, generalmente con plataformas altas para el abordaje a nivel. Bajo esta configuración alcanza los mayores niveles de desempeño del transporte masivo urbano, con capacidades habituales entre 30.000 y más de 80.000 phs y velocidades comerciales de 28 a 40 km/h. Constituye el eje estructurante primario de las megaciudades, aunque implica los mayores costos de inversión y complejidad institucional.

Metro ligero: Corresponde a una variante totalmente segregada que mantiene principios operativos similares al metro pesado, pero con trenes de menor dimensión y peso. Emplea vehículos con gálibos más reducidos, lo que permite disminuir los costos de obras civiles mediante túneles de menor diámetro y estructuras elevadas más ligeras. Su operación puede incorporar altos niveles de automatización e incluso conducción autónoma, manteniendo velocidades comerciales comparables al metro convencional. Dentro de esta categoría se incluyen configuraciones tecnológicas específicas, como sistemas con motor lineal o metros sobre rodadura neumática.

Tren suburbano o de cercanías: Responde a un ámbito funcional regional, conectando el núcleo urbano principal con municipios periféricos o áreas metropolitanas ampliadas. A diferencia del metro urbano, utiliza vehículos de mayor masa y realiza recorridos más extensos, con distancias mayores entre estaciones y velocidades operativas superiores. Puede operar mediante tracción eléctrica o diésel, con capacidades típicas entre 30.000 y 60.000 phs, funcionando como complemento estructural del sistema ferroviario metropolitano.

3.3.2. Requerimientos de infraestructura y sección transversal

Derecho de vía: Requiere de un derecho de vía con separación totalmente exclusiva, ya sea mediante túneles, sobre estructuras elevadas (viaductos) o en trincheras abiertas. Esta segregación elimina las interferencias con el tráfico mixto y peatones, garantizando operaciones de altísima capacidad, velocidad y seguridad.



Sección transversal: El impacto y las dimensiones espaciales dependen fundamentalmente de la solución constructiva elegida (subterránea o elevada):

• **HRT subterráneo:**

• **Túnel:**

- Túnel simple por vía: diámetro interior típico 5,5 a 6,5 metros.
- Túnel doble vía: sección equivalente 9 a 10,5 metros.

• **Estaciones subterráneas:**

- Ancho de andén central: 8 a 12 metros.
- Plataformas laterales: 4 a 6 metros cada uno.

• **Impacto en superficie:**

- Acceso a estación. 4-8 m por boca (incluye escaleras, ascensores)
- Estructuras auxiliares (ventilación, subestaciones) a considerar en forma puntual.

• **HRT elevado:**

• **Estructura de viaducto:**

- Plataforma ferroviaria (doble vía): 8,5 – 10 m (incluye vías, separaciones de seguridad y barandas)
- Ancho total del tablero estructural: 9 – 11 m
- Altura libre bajo viaducto: 5 – 6 m (mínimo para circulación vial)
- Altura total de la estructura: 8 – 15 m (según gálivos y solución estructural)

• **Estaciones elevadas:**

- Andén central: 10 – 12 m
- Andenes laterales: 5 – 6 m

• **Apoyos y ocupación en superficie.**

- Pilas /pilares. 1,5 – 2,5 m de diámetro (o sección equivalente) / separación longitudinal 25 – 35 m

Material de la vía: Infraestructura pesada basada en la tecnología tradicional de rodadura de acero sobre rieles de acero. La electrificación suele realizarse mediante la instalación de un tercer riel energizado a nivel de piso (lo que refuerza la necesidad de segregación total), aunque en algunos sistemas se emplean líneas aéreas de contacto (catenarias).



Longitud del corredor: Para recuperar los altísimos costos de inversión y justificar los costos de operación, es preferible que las líneas sean de extensión significativa, generalmente mayores a los 10 o 15 km. Un tramo muy corto no lograría conectar los suficientes atractores urbanos masivos ni justificaría la economía de escala necesaria para la perforación de túneles y sistemas electromecánicos (Spriggett, 2025).

Pendientes longitudinales:

- Pendientes sostenidas recomendadas cercanas a $\leq 4\%$ o menos.
- En túneles o rampas específicas, algunos sistemas aceptan pendientes ligeramente superiores (hasta 5%)
- La pendiente tolerada depende del diseño del material rodante y los sistemas de tracción y frenado.

Distancia entre estaciones: Para sostener las altas velocidades comerciales de un metro y aprovechar su fluidez, las estaciones deben espaciarse más que en los modos de superficie. En áreas densas centrales, la separación media ronda los 800 a 1.000 m, extendiéndose de 1,5 a 4 km (o más) en los tramos y ramales hacia la periferia suburbana.

Patios de resguardo y talleres: Requieren terrenos de inmensas dimensiones (por ejemplo, predios de 50.000 m² o superiores) que deben estar conectados permanentemente por vías férreas y electrificación a la línea troncal. Estas áreas son críticas para el encierro nocturno de las formaciones completas, mantenimiento pesado y albergar los Centros de Control (ITDP, 2017).

Segregación del derecho de vía: En los sistemas de metro ligero de alta capacidad o metro, **la segregación del derecho de vía es estructural y obligatoria**. Se trata de sistemas ferroviarios con trenes de gran capacidad, señalización dedicada y altos niveles de frecuencia, que no pueden operar en tráfico mixto ni convivir con cruces a nivel. Por razones de seguridad, normativa técnica y funcionamiento del sistema de control, el derecho de vía debe ser completamente exclusivo, sin interferencias vehiculares o peatonales (TCQSM, 2013).

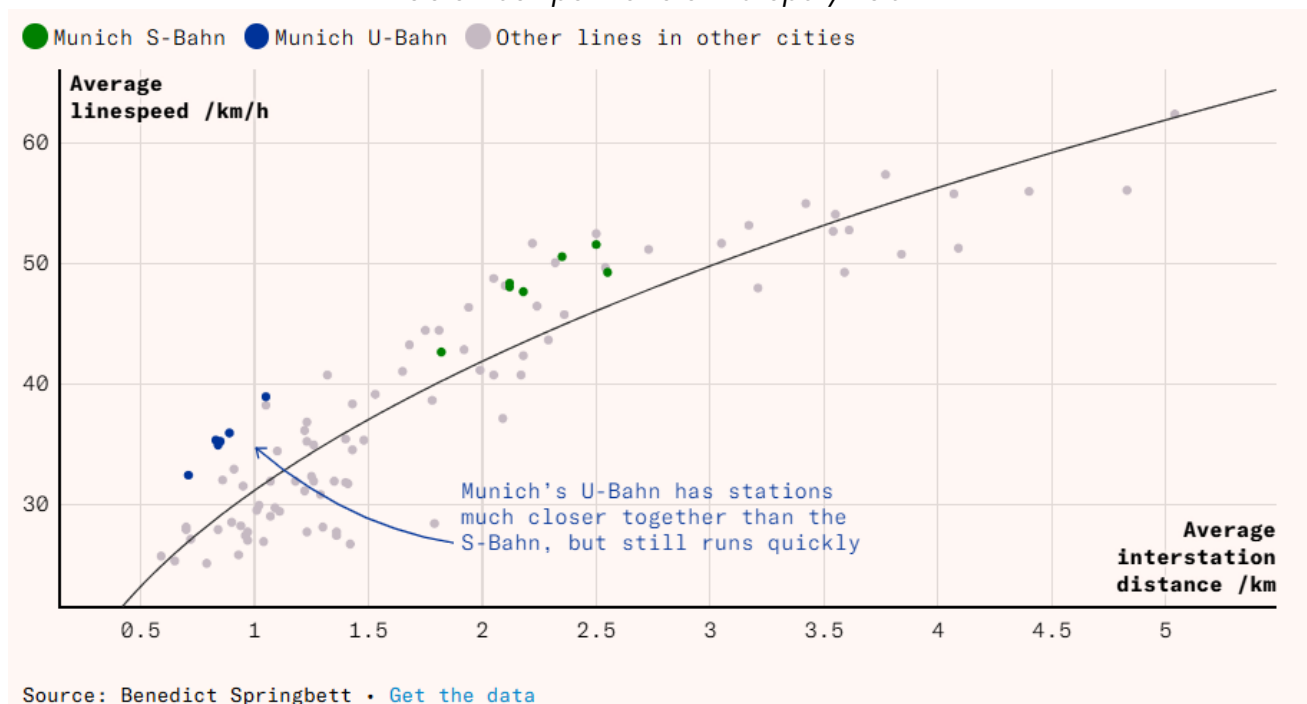
Esto implica la necesidad de infraestructura segregada en forma de túneles, viaductos o corredores totalmente protegidos, eliminando intersecciones a nivel y asegurando continuidad operacional absoluta. En este caso, la segregación no responde únicamente a una mejora de desempeño, sino que constituye una condición tecnológica indispensable para la operación del sistema. La ausencia de segregación haría inviable la implementación del modo ferroviario pesado o semipesado.



3.3.3. Parámetros operativos

Velocidad operacional: Gracias a la segregación total a desnivel, el sistema es prácticamente inmune a las interferencias del tráfico superficial permitiendo velocidades comerciales promedio entre 28 y 40 km/h, con valores superiores en tramos periféricos o suburbanos. Sin embargo, la distancia entre estaciones puede generar variaciones significativas en las velocidades del sistema, con impacto en los sistemas urbanos como los metros, en los cuales las velocidades pueden ir observarse entre los 25 y 35 km/h (TCQSM, 2013).

Gráfica 3. Ejemplo de velocidades operacionales en función de la distancia entre estaciones, en sistemas tipo metro en Europa y Asia



Fuente: "Los sistemas metro con mayor espacio entre estaciones, tienden a funcionar más rápido" Benedict Sprigbett, 2025, a través de worksinprogress.co.

Capacidad: La capacidad de los sistemas depende de la longitud de los trenes, la frecuencia de operación y el desempeño de los sistemas de señalización. La mayor capacidad observada alcanza niveles de 80.000 phs, en sistemas con trenes de longitud superior a 150 m y hasta 10 vagones y un paso ininterrumpido con paso de trenes cada 90 s. Este intervalo de paso constituye el límite operacional de los sistemas ferroviarios actualmente.



En el caso del metro ligero los trenes pueden tener configuraciones desde 3 vagones y alcanzar intervalos críticos de 2 min, con una capacidad estimada es de 15.300 phs.

Frecuencia de intervalos: Regulada mediante sistemas ferroviarios especializados que operan mediante una jerarquía de sistemas que garantiza en primer lugar la protección contra colisiones y, en segundo lugar, la optimización de la operación. El estándar de control automático de trenes actualmente se denomina CBTC (*Communication Based Train Control*), el cual integra todos los niveles de gestión de seguridad y flota a través de robustas plataformas de redes de telecomunicaciones y redundancias de localización de trenes en vía con balizas.

En redes de alta demanda, los intervalos pueden situarse entre 2 y 3 minutos en hora pico. Aunque técnicamente es posible reducirlos más, los tiempos de detención en estación y la gestión de pasajeros establecen un límite práctico cercano a 30 trenes por hora. En el caso del metro ligero, la evidencia muestra que los intervalos suelen ampliarse entre los 6 y 13 minutos, debido a la dificultad de ajustar la oferta a condiciones de menor demanda por las dimensiones de los vehículos y sus capacidades.

Tiempos de parada: Dependen principalmente del volumen de pasajeros, la configuración de puertas y la distribución de la demanda a lo largo del tren. Gracias al abordaje a nivel y a sistemas de prevalidación tarifaria, los tiempos de detención suelen situarse en rangos operativos de 10 y 15 segundos, pudiendo incrementarse en estaciones de intercambio o alta congestión.

3.3.1. Implicancias urbanas y de implementación

Escalabilidad: El sistema presenta la escalabilidad más rígida dentro del espectro del transporte masivo urbano. Debido a los elevados costos de capital, su implementación suele realizarse mediante proyectos de gran escala que permitan capturar economías operativas y financieras. Para justificar esta inversión, el metro requiere operar en corredores de muy alta demanda. Si bien la capacidad puede incrementarse mediante trenes más largos o mayores frecuencias, la expansión física de la red, la ampliación de estaciones o la construcción de nuevas vías implican intervenciones estructurales complejas, de alto costo y largo plazo (ONU Hábitat, 2013; ITDP, 2017).

Por otro lado, su implementación depende además de un alto nivel de compromiso político sostenido en el tiempo. Dado que los horizontes de planificación y construcción suelen exceder un ciclo administrativo, su desarrollo requiere asumirse como una política pública de largo plazo, respaldada por coordinación interinstitucional y continuidad en la toma de decisiones entre distintos niveles de gobierno.



Flexibilidad: El metro presenta una flexibilidad operativa muy limitada, derivada de su dependencia absoluta de infraestructura ferroviaria con separación total de grado. Los trenes permanecen confinados a su trazado y no pueden extender cobertura fuera del corredor mediante desvíos operativos. Asimismo, la incorporación de servicios expresos o de paradas limitadas requiere configuraciones específicas, como vías adicionales o “laderos”, que elevan significativamente los costos. Esta rigidez reduce la capacidad de adaptación ante contingencias operativas, ya que incidentes en la vía o fallas energéticas pueden afectar la continuidad del servicio en toda la línea (ITDP, 2017; TCQSM, 2013).

Tiempo de implementación: Los plazos de implementación del HRT se encuentran entre los más extensos dentro de los sistemas de transporte urbano, acumulando frecuentemente entre 6 y 10 años desde la planificación hasta la entrada en operación, e incluso más en contextos complejos. La fase de estructuración financiera y estudios de ingeniería puede requerir entre 3 y 5 años, seguida de procesos constructivos igualmente prolongados asociados a túneles, viaductos y sistemas electromecánicos. Estos horizontes temporales suelen exceder el ciclo político de una administración pública, incrementando los riesgos de retrasos, ajustes de alcance o cambios en las prioridades institucionales (ONU Hábitat, 2013).

Impacto y reestructuración urbana: El metro posee una elevada capacidad de transformación urbana. La percepción de permanencia asociada a su infraestructura promueve procesos de densificación, revalorización inmobiliaria y concentración de actividades económicas en torno a las estaciones. Su operación eléctrica genera cero emisiones locales y niveles reducidos de ruido, mientras que su inserción subterránea o elevada minimiza conflictos con el espacio vial superficial y reduce interferencias con las dinámicas urbanas existentes.

Cuando el sistema opera completamente a desnivel, sus impactos físicos sobre la estructura urbana suelen ser menores, con impactos limitados o nulos en el tránsito vehicular y operación de otros sistemas. Sin embargo, en aquellos casos donde el trazado se desarrolla a nivel, la segregación física necesaria para garantizar la seguridad y la operación puede introducir efectos de fragmentación espacial o funcionar como barrera urbana si no se integra adecuadamente al diseño del entorno. Asimismo, la magnitud de la inversión y los requerimientos financieros sostenidos pueden generar presiones presupuestarias relevantes, por lo que su implementación exige una planificación integrada que evite desequilibrios entre los corredores estructurantes y los sistemas de transporte de superficie.



3.4. Otras tecnologías guiadas de capacidad intermedia

En este apartado se presentan algunas tecnologías identificadas durante el proceso de revisión documental. No obstante, es importante señalar que, dadas sus implicancias de implementación, entre ellas el alto nivel de especialización tecnológica, la limitada experiencia internacional, los costos de inversión elevados y su capacidad operativa relativamente acotada, **estos modos no se consideran alternativas viables para su implementación en el contexto de los corredores 8 de Octubre – Camino Maldonado – Av. 18 de Julio y Av. Italia – Av. Giannattasio.**

En consecuencia, las tecnologías aquí descritas se incorporan únicamente como referencia conceptual dentro del espectro de soluciones guiadas, con fines comparativos y para complementar el análisis técnico del estudio.

3.4.1. Monorriel

El monorriel corresponde a una tecnología de transporte público guiado no convencional, caracterizada por la operación de vehículos soportados y dirigidos por una única viga estructural o riel central, generalmente mediante infraestructura elevada y totalmente segregada a desnivel. A diferencia de los sistemas ferroviarios convencionales (LRT o HRT), los trenes de monorriel presentan un ancho mayor que la guía que los sostiene, constituyendo su principal rasgo diferenciador desde el punto de vista tecnológico y constructivo.

Existen dos configuraciones principales: el monorriel apoyado, en el cual el vehículo se desplaza sobre la viga con guiado lateral, y el monorriel suspendido, donde los vagones cuelgan por debajo o a un costado de la estructura. Habitualmente emplean rodadura sobre neumáticos y sistemas automatizados, lo que permite radios de curvatura reducidos, pendientes longitudinales más pronunciadas de hasta aproximadamente 8% y velocidades comerciales teóricas comparables a sistemas segregados, generalmente entre 28 y 40 km/h. No obstante, registros operativos documentados por el ITDP (2017) muestran desempeños inferiores en ciertos casos; por ejemplo, el sistema de Kuala Lumpur presenta una velocidad comercial promedio cercana a 17 km/h.

En términos teóricos, la tecnología puede alcanzar capacidades cercanas a 30.000 phs por sentido; sin embargo, experiencias internacionales muestran que la demanda efectiva suele ubicarse considerablemente por debajo de estos valores, como el caso del monorriel de Kuala Lumpur, con una capacidad registrada de 3.000 phs (ITDP, 2010).



Desde la perspectiva de planificación urbana, el monorriel presenta desafíos relevantes. Diversas guías técnicas señalan que los costos de capital resultan elevados en relación con su capacidad efectiva), alcanzando hasta \$100 millones USD por kilómetro, como el caso del sistema de Las Vegas, con casos documentados que alcanzan valores superiores (ITDP, 2017). Asimismo, su carácter altamente especializado genera dependencia tecnológica de proveedores específicos, limitando la interoperabilidad con otras redes ferroviarias y elevando los costos de mantenimiento a largo plazo. La operación sobre una estructura elevada rígida implica además una flexibilidad operativa muy limitada, ya que los trenes no pueden abandonar el trazado ni integrarse físicamente a otros modos guiados (AEAMESP, 2014).

La segregación elevada puede generar impactos visuales significativos en el paisaje urbano y plantea retos operativos asociados a la evacuación de pasajeros y a la confiabilidad del sistema en escenarios de emergencia. La experiencia internacional evidencia que una parte importante de las aplicaciones del monorriel se concentra en entornos aeroportuarios, institucionales o recreativos, más que en corredores urbanos estructurales de alta demanda.

En América Latina, su presencia es limitada, destacando principalmente la Línea 15–Plata de São Paulo (Brasil), cuya implementación ha enfrentado desafíos técnicos, financieros y operativos durante su desarrollo (AEAMESP, 2013). Actualmente el sistema opera a una altura entre 15 y 20 m y reporta contar con una capacidad de 48.000 phs, con una velocidad comercial de 35 km/h (Metro SP, 2025).

En este estudio, el monorriel se incorpora como referencia tecnológica dentro del espectro de sistemas guiados con fines comparativos conceptuales. No obstante, considerando su relación costo-capacidad, baja flexibilidad operativa, dependencia tecnológica y antecedentes internacionales, no se considera una alternativa prioritaria para los corredores estructurales analizados, en línea con la literatura de planificación que señala limitaciones relevantes para su aplicación como solución de transporte público masivo.

3.4.2. Sistemas de buses guiados

Los sistemas de ómnibus guiados corresponden a una tecnología híbrida dentro del transporte público sobre neumáticos, asociada principalmente a configuraciones BRT avanzadas o a conceptos de tranvía sobre neumáticos. Su rasgo distintivo es la incorporación de mecanismos físicos o electrónicos que controlan el movimiento lateral del vehículo, permitiendo una alineación precisa dentro del carril y reduciendo la dependencia exclusiva del conductor (ITDP, 2007).



Desde el punto de vista tecnológico, pueden identificarse tres configuraciones principales: guiado mecánico, basado en ruedas laterales o rodillos que interactúan con bandas o carriles direccionales; guiado óptico, mediante cámaras y marcas visuales en el pavimento que automatizan la trayectoria; y guiado magnético, que utiliza sensores para seguir referencias insertadas en la vía. Estas soluciones buscan combinar la adherencia y capacidad de pendiente propia de los ómnibus con ventajas operativas típicas de sistemas guiados, como mayor estabilidad direccional y precisión en estaciones (Britpave, 2017).

A nivel internacional, los ómnibus guiados han sido implementados en diversas configuraciones tecnológicas con desempeños operativos variables. Los sistemas de guiado mecánico constituyen los ejemplos más consolidados: el corredor O-Bahn de Adelaida alcanza demandas cercanas a 4.500 phs y velocidades máximas que pueden aproximarse a los 80 km/h en tramos segregados. En tecnologías de guiado óptico, corredores como TEOR muestran demandas más moderadas, alrededor de 1.700 phs, utilizando ómnibus articulados y priorizando la precisión de aproximación a estaciones. Por su parte, las soluciones de guiado magnético han tenido aplicaciones más acotadas, con volúmenes diarios relativamente bajos y capacidades asociadas a flotas articuladas de alrededor de 120 pasajeros por unidad (ITDP, 2007)

En términos de diseño vial, el control lateral permite reducir el ancho de carril requerido, hasta aproximadamente 2,7–2,8 m, optimizando el uso del derecho de vía en corredores urbanos restringidos. Asimismo, facilita alineaciones de alta precisión en plataformas (distancias de 5–10 cm), favoreciendo el abordaje a nivel y disminuyendo los tiempos de detención. En algunos casos, el guiado se aplica únicamente en zonas específicas, como estaciones, para equilibrar beneficios operativos con costos de infraestructura.

No obstante, la experiencia internacional muestra limitaciones relevantes. Estos sistemas implican mayores costos de implementación y material rodante respecto a un BRT convencional, introducen dependencia tecnológica y reducen la flexibilidad operativa ante incidentes o variaciones de servicio (ITDP, 2007). Por ello, en este estudio se consideran principalmente como una variante tecnológica especializada dentro del espectro BRT avanzado, incorporada con fines comparativos conceptuales más que como una solución estructural prioritaria.



3.4.3. Aeromóvel

El Aeromóvel corresponde a un sistema de transporte automatizado guiado, caracterizado por operar sobre infraestructura elevada segregada mediante un sistema de propulsión neumática. A diferencia de los sistemas ferroviarios convencionales, los vehículos no poseen tracción propia, el movimiento se genera a partir de ventiladores estacionarios que presurizan un ducto integrado en la vía, empujando o halando una placa de propulsión conectada al tren. Esta configuración reduce el peso del material rodante, mejora la eficiencia energética y permite una operación completamente automatizada.

Esta configuración reduce el peso del tren, el consumo energético y los requerimientos de mantenimiento, al tiempo que permite una operación completamente automatizada. Dada su tecnología especializada para conexiones puntuales de media o baja demanda, particularmente en entornos aeroportuarios o trayectos segregados donde la automatización y la operación sin conductor representan ventajas operativas. Este sistema es empleado por el Aeropuerto Internacional de Guarulhos (Brasil) con 4 estaciones distribuidas en los 2.700 m de la extensión de la línea, 2 vehículos en operación con capacidad de 200 pasajeros y una capacidad reportada de 2.000 phs (Aerogru, 2025).

Además del sistema mencionado en Guarulhos, que se encuentra aún en fase de puesta a punto (horarios y frecuencias limitadas), se han desarrollado otros 2 sistemas en el mundo utilizando esta tecnología. El primero de ellos consistente en una línea de 3,2 km fue inaugurado en 1989 en un parque temático en Yakarta, pero que no continúa operando en la actualidad, habiendo sido sustituido por un sistema de tranvía eléctrico. El segundo, consistente en una línea de 1 km en el aeropuerto de Porto Alegre inaugurado en 2013, se encuentra inactiva desde hace 2 años, luego de las inundaciones ocurridas durante el mes de mayo de 2024.

De acuerdo con el proveedor de esta tecnología, Aerom (2025), los vehículos pueden alcanzar velocidades cercanas a 100 km/h y capacidades de hasta 24.000 psh, con intervalos cortos entre vehículos. Sin embargo, por la falta de experiencias, no se cuenta con evidencia suficiente para establecer un rango de velocidades confiable.

Desde el punto de vista urbano, el Aeromóvel se caracteriza por una infraestructura elevada ligera y modular. Su diseño prioriza eficiencia energética, cero emisiones locales y flexibilidad de trazado, incluyendo radios de curva reducidos y pendientes relativamente pronunciadas (12%) (AEAMESP, 2020).



Si bien la propulsión neumática ofrece beneficios en términos de eficiencia energética, reducción de ruido y eliminación de emisiones locales, su aplicación en corredores estructurales urbanos es limitada debido a su capacidad relativamente acotada y a la alta especialización tecnológica del sistema, con un único proveedor de esta tecnología. Por otro lado, no existe ningún sistema urbano masivo de transporte operando múltiples vehículos a altas frecuencias por horarios extendidos que utilice esta tecnología. En consecuencia, puede considerarse una solución complementaria dentro del espectro de sistemas guiados automatizados, más que una alternativa de transporte masivo.



3.5. Consideraciones preliminares para el contexto de Montevideo

Desde una perspectiva conceptual, las alternativas modales analizadas presentan distintos niveles de adecuación potencial a los corredores 8 de Octubre – Camino Maldonado, Av. Italia – Giannattasio y su prolongación común por 18 de Julio. La pertinencia relativa de cada modo depende de variables estructurales como la magnitud y distribución de la demanda actual y proyectada, las restricciones físicas y urbanas del derecho de vía, la capacidad institucional para su implementación y los objetivos estratégicos definidos en el marco del PTTMM.

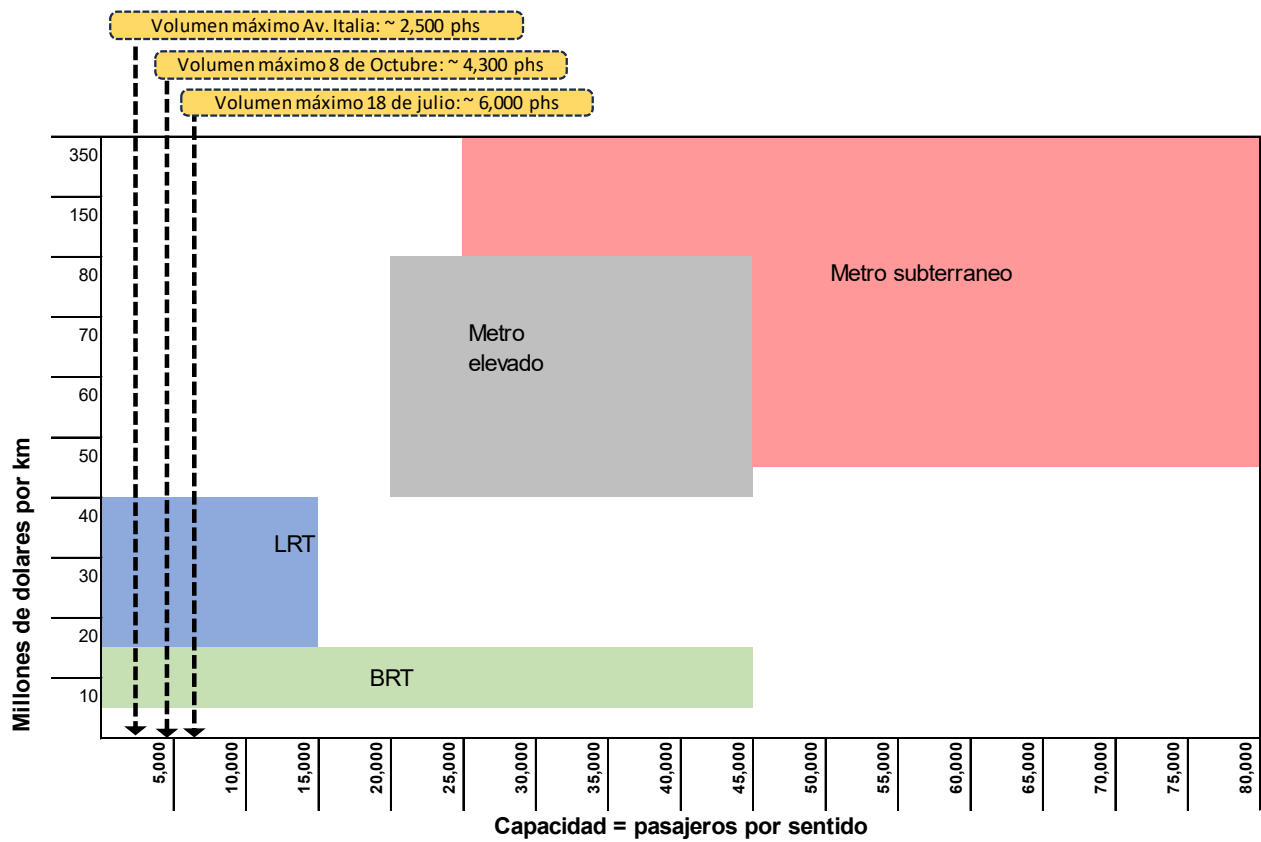
Esta caracterización conceptual constituye la base para el análisis comparativo estructurado que se desarrolla en los apartados siguientes, en los que se profundiza en criterios técnicos, operativos y económicos.

Considerando los niveles actuales y proyectados de demanda en el AMM, los umbrales típicamente asociados a sistemas de metro pesado difícilmente se alcanzarían en horizontes de largo plazo sin transformaciones sustantivas en los patrones de uso del suelo y en los niveles de densificación urbana. En este contexto, el presente estudio realiza un ejercicio de dimensionamiento preliminar orientado a ajustar las características generales de cada alternativa modal a las condiciones locales de demanda y entorno urbano, presentado en siguiente apartado.

A continuación, se presenta una comparación conceptual de las alternativas, contrastando sus parámetros técnicos de referencia, según la literatura internacional especializada, con las necesidades y restricciones específicas del AMM.



Figura 1. Capacidad de los sistemas de transporte y costos capitales para opciones de transporte masivo



Elaboración propia, con base en Guía ITDP, 2017



4. Premisas de diseño de las alternativas para el comparativo

Aunque el presente estudio adopta una aproximación conceptual, es necesario establecer premisas claras que orienten el análisis hacia el objetivo central de cualquier proyecto de transporte público: atender las necesidades de viaje de las personas.

Como señalan diversos referentes en la materia,

“la demanda de transporte es una demanda derivada y no constituye un fin en sí misma. Las personas se desplazan para satisfacer necesidades específicas (trabajo, educación, salud, ocio) realizando actividades en ubicaciones concretas. Por lo tanto, comprender la demanda de transporte implica entender cómo estas actividades se distribuyen en el espacio, tanto en contextos urbanos como regionales. Un sistema de transporte adecuado amplía las oportunidades para satisfacer dichas necesidades; por el contrario, un sistema congestionado o deficientemente conectado restringe opciones y limita el desarrollo económico y social” (Ortúzar, 2011).

De manera complementaria, si bien existen múltiples enfoques para evaluar el desempeño del transporte público, la literatura reciente privilegia la perspectiva del pasajero o usuario. En este marco, se reconoce que los operadores y autoridades deben **equilibrar la calidad de servicio que los usuarios idealmente desearían con aquella que la agencia puede financiar o razonablemente proveer, dadas las condiciones de demanda existentes (TCQSM, 2013)**, para poder garantizar la prestación del servicio, cumpliendo las necesidades de movilidad.

Bajo este enfoque, el diseño y la evaluación de sistemas de transporte deben considerar, entre otros aspectos, **la disponibilidad del servicio y el nivel de confort y conveniencia ofrecido, en función de su capacidad para cubrir efectivamente las necesidades de viaje de la población (TCQSM, 2013).**

En consecuencia, la premisa fundamental para la comparación de alternativas en el marco del PTTMM es que tanto los corredores, como las soluciones modales propuestas respondan al deseo de viaje de las personas, conectando de manera directa y eficiente los puntos de origen con los principales destinos urbanos.

En el caso de sistemas de mediana y alta capacidad, particularmente aquellos estructurados bajo esquemas troncales o tronco-alimentados, ello implica diseñar soluciones que vinculen adecuadamente las cuencas generadoras de viaje con las



centralidades atractoras, evitando enfoques centrados exclusivamente en la construcción de infraestructura, en la disponibilidad de espacio o en oportunidades urbanísticas puntuales que fragmenten la cadena de viaje de los usuarios.

En el contexto del PTTMM, **esta premisa se traduce en la definición de alternativas con un alcance equivalente en términos de cobertura de origen-destino, capacidad del sistema, características funcionales y conectividad territorial.**

Con base en el diagnóstico de los corredores y en las alternativas modales presentadas previamente, se describen a continuación las características fundamentales de cada corredor y de las soluciones consideradas, con el propósito de establecer un marco técnico común para el análisis comparativo posterior.

4.1. Características base de los corredores

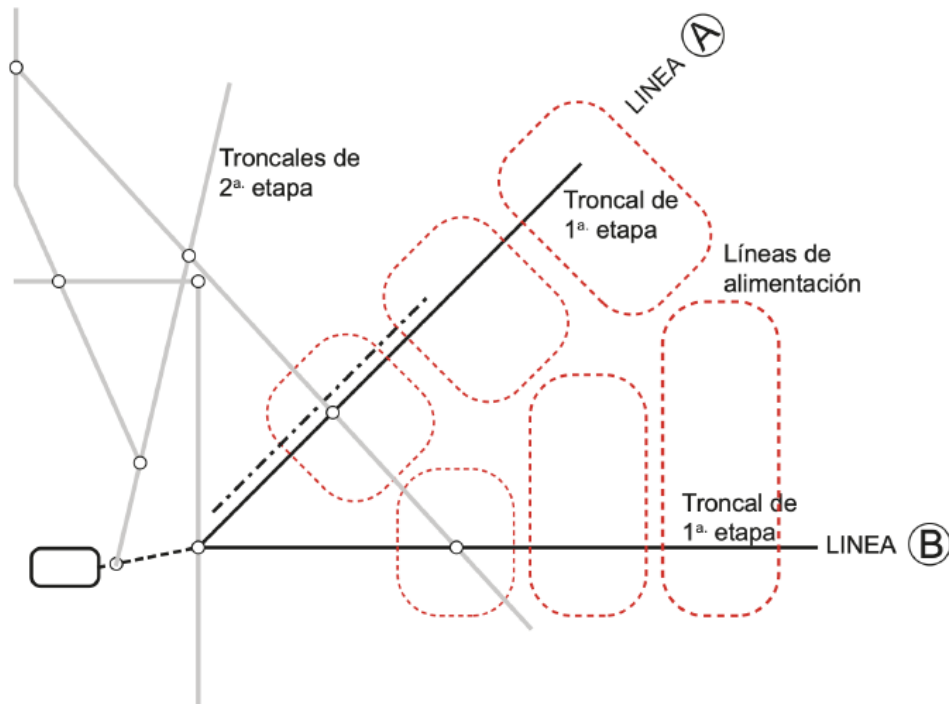
Como se ha señalado previamente, la red de corredores correspondiente a la primera etapa del PTTMM está conformada por dos ejes metropolitanos que conectan la periferia del AMM con el área central (8 de Octubre – Camino Maldonado y Av. Italia – Giannattasio) los cuales confluyen en el corredor 18 de Julio para continuar hacia la zona central y la Ciudad Vieja, principal concentrador de viajes del sistema urbano.

Bajo la premisa de priorizar el deseo de viaje de las personas, resulta fundamental analizar los requerimientos técnicos y operativos del sistema en el punto de integración física de los dos corredores metropolitanos con el corredor 18 de Julio, particularmente en el entorno de Tres Cruces. La configuración adoptada en este tramo común, su desempeño operacional y su impacto sobre la calidad del servicio pueden constituir el elemento determinante para el diseño y la selección de la alternativa modal del PTTMM.

Asimismo, el diseño del proyecto debe garantizar una integración funcional continua entre el corredor central (18 de Julio) y los corredores metropolitanos a lo largo de toda su extensión. Esto implica minimizar el número de transbordos (idealmente limitándolos a uno en esquemas tronco-alimentados) y maximizar los beneficios asociados a un sistema troncal de alta frecuencia, tales como mayor disponibilidad de servicio, reducción de tiempos de viaje y mejora en la confiabilidad.



Figura 2. Esquema de red de corredores: Ejes metropolitanos 8 de Octubre y Av. De Julio y confluencia en Av. 18 de Julio



Fuente. "Diagrama esquemático del sistema a largo plazo", Proyecto de Movilidad Metropolitana, FADU, 2025

A continuación, se describen las características relevantes de los corredores metropolitanos considerados en esta primera etapa.

4.1.1. Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado

Origen – destino: Zonamerica – Tres Cruces,

Tramos viales: Camino Maldonado, Ruta 8 y Av. 8 de Octubre.

Longitud y número de estaciones: 15 km, 36 estaciones.

Características relevantes:

- Alta densidad de intersecciones (70% semaforizadas en el tramo 8 de Octubre, parte central del corredor)
- Volumen de demanda máxima estimado: 4.300 phs
- Secciones variables 16–26 m (sin ancho actual de veredas)
- Centralidades diversas y con intensidad de actividades de todos los sectores.



- Tres Cruces constituye un nodo crítico en el diseño del corredor y su continuidad en dirección centro y conexión con el tramo 18 de Julio.

Ilustración 2. Corredor Camino Maldonado y Ruta 8: Zonamerica – Intercambiador Belloni



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth

Ilustración 3. Corredor Av. 8 de Octubre: Intercambiador Belloni – Tres Cruces



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth



4.1.2. Corredor Italia – Giannattasio

Origen – destino: El Pinar (Guenoas) – Tres Cruces,

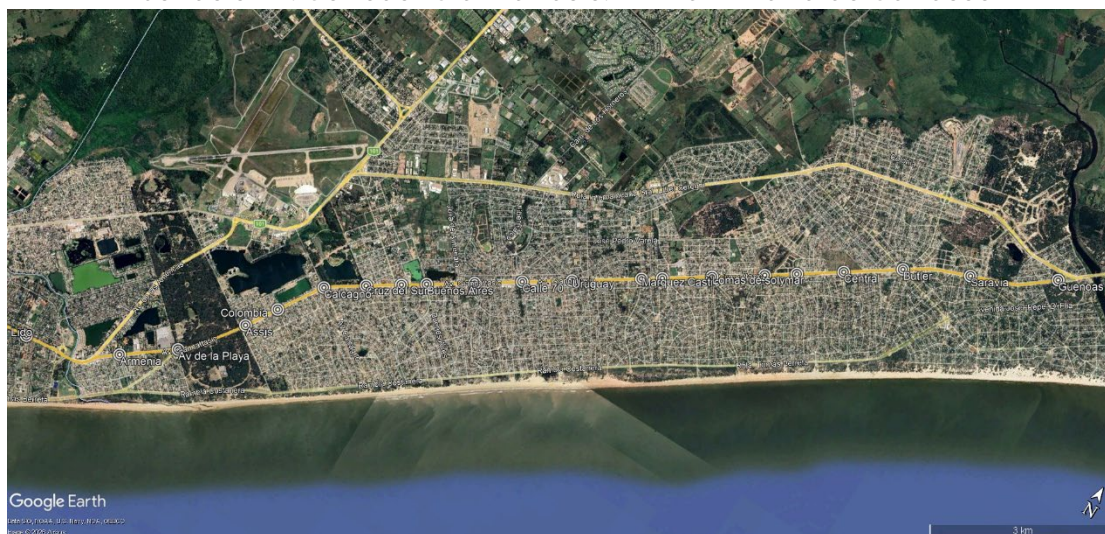
Tramos viales: Av. Giannattasio y Av. Italia

Longitud y número de estaciones: 28,3 km, 42 estaciones.

Características:

- Distancia entre intersecciones mayor que 300 m, semaforizadas. Existe un paso a desnivel en el cruce con Av. Centenario para priorizar el tránsito sobre Av. Italia.
- Corredor con mayor sección disponible, en algunos tramos con camellón central con capacidad de alojar, ciclovía y estaciones.
- Menor densidad peatonal.
- Demanda máxima: 2.500 phs
- Corredor con principal orientación a tránsito privado y con alto volumen de flujo.

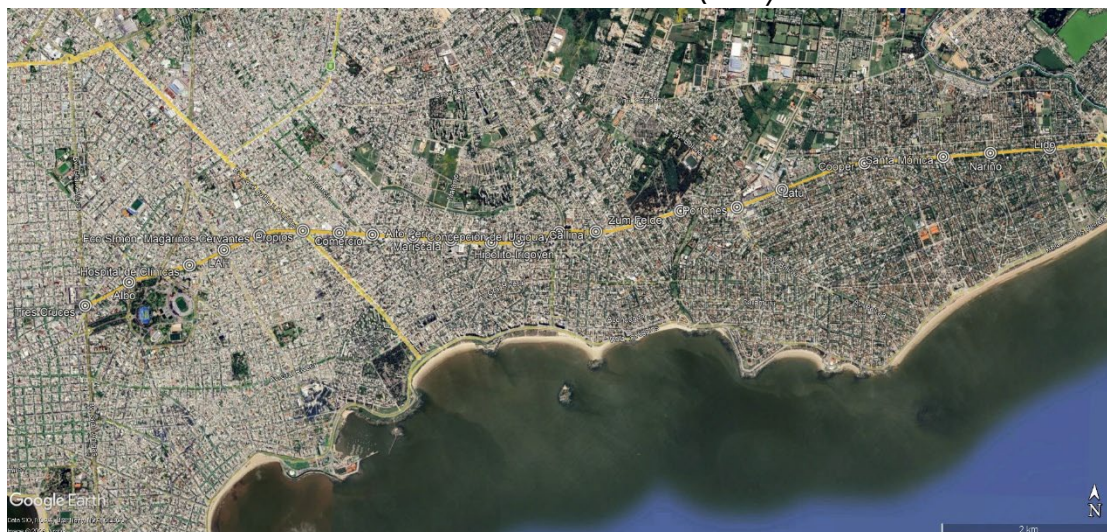
Ilustración 4. Corredor Giannattasio: El Pinar – Barra de Carrasco



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth



Ilustración 5. Corredor Av. Italia: Av. Rafael Barradas (Arroyo Carrasco – Tres Cruces)



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth

4.1.3. Av. 18 de Julio – Corredor de integración de ejes metropolitanos

Origen – destino: Av. 8 de octubre (soterrado Tres Cruces) – Plaza Independencia

Tramos viales: Av. 18 de Julio

Longitud y número de estaciones: 3,4 km, 6 estaciones.

Condiciones:

- Vialidad en zona central del AMM, y corredor en el que confluyen las rutas y flujos de ambos ejes metropolitanos (8 de Octubre y Av. Italia).
- Corredor de uso mixto con alta tasa de atractores de viaje de sectores diversos y alta densidad peatonal
- Alta densidad de intersección: 31 intersecciones con distancias menores a 100 m
- Se presentan manifestaciones e interferencias diversas frecuentes
- La conectividad con el nodo Tres Cruces actualmente, constituye un nodo de elevada complejidad vial en donde confluyen diversos flujos viales y peatonales a nivel, así como el tránsito transversal soterrado de la Av. 8 de Octubre que permite la continuación de esta avenida con la Av. 18 de Julio.



Ilustración 6. Diagrama de flujos de los corredores en el Nodo Tres Cruces



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth

- Este tramo es el **segmento estructural más sensible del proyecto**, como fue descrito anteriormente, puede condicionar la decisión modal más que el resto del corredor.

Ilustración 7. Corredor Av. 18 de Julio: Tres Cruces – Plaza Independencia



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth



4.2. Definición de las alternativas para el comparativo

Las soluciones tecnológicas para sistemas de transporte de mediana y alta capacidad pueden adoptar diversas configuraciones físicas y operativas, generando distintos rangos de capacidad, desempeño y nivel de servicio. Esas definiciones dependen, entre otras cosas, de las características físicas, operacionales y urbanas del área de intervención (en combinación con las necesidades, restricciones y premisas de proyecto). Por ello, cada alternativa a ser comparada en este análisis debe concebirse y evaluarse en función del contexto específico de los corredores, seleccionando configuraciones que respondan tanto a las características territoriales como a las necesidades de movilidad identificadas.

A continuación, se presentan las características básicas de las alternativas modales evaluadas y preliminarmente consideradas para la conceptualización de los corredores metropolitanos de transporte abordados en este documento.

4.2.1. Alternativa 1 – BRT Carril Central “confinado” con flota de ómnibus biarticulado, sin rebase

Parámetros base

- Carril exclusivo central por sentido, sin carriles de rebase
- Estaciones centrales cerradas
- Pago previo y embarque a nivel
- Ómnibus biarticulados eléctricos
- Capacidad por vehículo: 220 pasajeros

Requerimientos de infraestructura

- **Infraestructura de recarga:** De acuerdo con las premisas de infraestructura de este proyecto, esta alternativa considera infraestructura de recarga para los autobuses en patios.
- **Patios:** Implementación de los patios y talleres de mantenimiento del sistema, puede ser considerada en los patios de las empresas operadoras del sistema, infraestructura dedicada en terminales en función del espacio o en nuevos terrenos ubicados relativamente próximo a los corredores, sin necesidad de ninguna infraestructura especial de conexión.



4.2.2. Alternativa 2 – Tranvía (LRT ligero 290 pasajeros)

Se considera como LRT en superficie con alta integración urbana.

Parámetros base

- Doble vía central
- Electrificación aérea (catenaria)
- Vehículo tipo de 33 m con 5 módulos
- Capacidad: 290–320 pasajeros

Requerimientos de infraestructura

- Localización de patios y garajes conectados por vía y catenaria
- Subestaciones eléctricas a lo largo del trazo de vía
- Intervenciones mayores en intersecciones por radios de giro y requerimientos de vía y catenaria
- Mayor extensión y complejidad en pasos soterrados por requerimientos de vía y catenaria.

4.2.3. Alternativa 3 – Metro Ligero

Parámetros base

- Se asume sistema segregado completo (subterráneo en sectores críticos).
- Doble vía central
- Electrificación aérea (catenaria)
- Trenes tipo: 55 m de 3 vagones
- Capacidad por tren: 600 a 800 pasajeros

Requerimientos de infraestructura

- Patios ferroviarios conectados por vía y catenaria



- Sistemas ferroviarios normativos obligatorios para garantizar la seguridad y funcionamiento del sistema: Señalización, tracción y control centralizado de secciones eléctricas, ventilación mayor, red contra incendios, control de accesos, entre otros.
- Obras civiles de gran volumen para estaciones a nivel o en desnivel (soterrado o elevado)
- Intervención diseño, procura y fabricación impactan los tiempos de implementación, de manera significativa vs otras tecnologías.

4.2.4. Infraestructura crítica de la red de corredores.

Es relevante destacar que existen puntos del sistema con requerimientos especiales de infraestructura, derivados de la identificación preliminar de demandas de espacio y de la complejidad vial asociada a la implementación de los corredores metropolitanos. Estos aspectos constituyen condicionantes del proyecto y deberán ser adecuadamente resueltos por cualquiera de las alternativas modales que se estudien o desarrollen.

- **Continuidad subterránea bajo Tres Cruces.**

Este punto reviste especial relevancia debido a la complejidad actual de los flujos vehiculares y peatonales en el nodo a nivel, así como a la existencia del principal flujo de transporte público a desnivel (correspondiente al soterramiento actual del corredor 8 de Octubre) que opera en tránsito mixto. Cualquier intervención deberá considerar la circulación subterránea de ambas líneas puesto que, restituir los flujos de transporte masivo de los dos ejes metropolitanos a nivel podría generar conflictos significativos en términos de demanda de espacio, tiempos de cruce y capacidad operativa, afectando tanto el desempeño del sistema como el funcionamiento general del nodo en sus componentes vehicular y peatonal.

- **Intersecciones viales críticas adicionales.**

De manera preliminar, se han identificado otras intersecciones que, dada la intensidad de los flujos vehiculares existentes, podrían presentar requerimientos similares en caso de implementarse un sistema de transporte masivo en superficie. En estos puntos, será necesario evaluar soluciones específicas de priorización del corredor (incluyendo, eventualmente, obras de desnivel o soterramiento) con el objetivo de evitar conflictos viales y preservar el desempeño operacional de los corredores metropolitanos:

- Intersección Av. 8 de Octubre y Av. Luis A. Herrera / Centenario



- Intersección 8 de octubre y Av. Batlle y Ordóñez
- Intersección Av. Italia y Av. Luis A. Herrera
- Intersección Av. Italia y Av. Batlle y Ordóñez
- Intersección Av. Italia y Av. Bolivia
- Ajuste de la infraestructura de actual del cruce soterrado de Av. Italia y Av. Centenario

- **Condiciones de segregación en desnivel.**

Las alternativas de BRT y de Tranvía permiten configuraciones de segregación al nivel de la vía compatibles con la existencia de intersecciones con cruce del tránsito mixto en avenidas y ejes viales transversales estratégicos de la ciudad. Son soluciones en que el sistema de transporte público deja de tener segregación total y, consecuentemente, pierde capacidad, velocidad y desempeño, pero representan escenarios compatibles con el tipo de solución tecnológica. Sin embargo, la alternativa de metro pesado de forma general no considera soluciones que no tengan segregación total, y en ese caso existen configuraciones subterráneas, a nivel (pero sin cruces en nivel con el tránsito mixto), o en viaducto elevado.

En el caso específico de los corredores aquí analizados, existen algunas premisas base a considerar. Ambos ejes (8 de Octubre y Av. Italia) confluyen en la Av. 18 de Julio. Este corredor tiene un carácter mixto, denso, con elevado uso peatonal y social y que presenta las restricciones de sección más críticas. Así mismo, los corredores 8 de Octubre – Cno. Maldonado e Italia – Giannattasio, aunque poseen menos restricciones de sección vial que 18 de Julio, también son altamente permeables (intersecciones con cruces viales arteriales y estratégicos para el AMM), conectados en ambos lados de la vialidad actualmente.

Para lograr la segregación total de un corredor de tránsito rápido, en cualquiera de las opciones, no es posible evaluar una segregación a nivel ya que es una zona en donde no es factible tener espacio adicional para otros flujos vehiculares (privados, servicios, otros modos).

Asimismo, la implantación de modos de transporte a nivel puede generar un fenómeno conocido como segregación comunitaria o “efecto barrera”, donde la infraestructura de transporte y el tráfico vehicular dificultan la continuidad de las



conexiones transversales y de la red peatonal. En términos de movilidad, esto se traduce en mayores distancias de recorrido, tiempos de cruce más prolongados y condiciones menos seguras para peatones, incluso cuando se incorporan infraestructuras como pasos a desnivel o puentes peatonales, que pueden presentar problemas de accesibilidad o percepción de seguridad. A escala urbana, estos obstáculos pueden reducir la interacción entre áreas contiguas, afectar las dinámicas barriales y comerciales, debilitar la cohesión social y concentrar impactos ambientales asociados al tráfico vehicular. Este fenómeno tiende a intensificarse en infraestructuras lineales ferroviarias, que requieren segregación física continua y restringen los cruces transversales a puntos específicos (Anciaes & Mindell, 2021).

En este sentido, y considerando los impactos potenciales de discontinuidad urbana asociados a infraestructuras totalmente segregadas a nivel, particularmente en el caso del metro, la segregación total a nivel no se contempla como una alternativa viable dentro del presente estudio para ninguno de los modos analizados.

Asimismo, un viaducto elevado no sería una opción recomendable para la totalidad de las intervenciones, debido a sus impactos urbanos. Si bien podría considerarse esta solución en contextos viales y urbanos como el de el eje Av. Italia – Giannattasio (por sus anchos viales), no se la encuentra factible para la Av. 18 de Julio, ni para la Av. 8 de Octubre. De esta forma, la alternativa de soterramiento resulta una opción pertinente para su análisis, considerando que la superficie sería restablecida y mejorada, mientras que el trazado en desnivel permitiría mejorar la conectividad, así como la velocidad y confiabilidad del servicio, tal como se analiza a lo largo del siguiente capítulo.

Así, dado que los sistemas de metro requieren un alto grado de segregación, la alternativa a nivel queda descartada en el presente estudio. Por lo tanto, la única opción considerada para ese modo corresponde a una solución soterrada, con la incorporación de obras especiales puntuales, las cuales se analizan a continuación. Para las otras dos alternativas modales (BRT y Tranvía), se consideraron tanto la opción a nivel (con cruces a nivel) como la alternativa soterrada en Av. 18 de Julio.



4.2.5. Operadores del servicio de transporte.

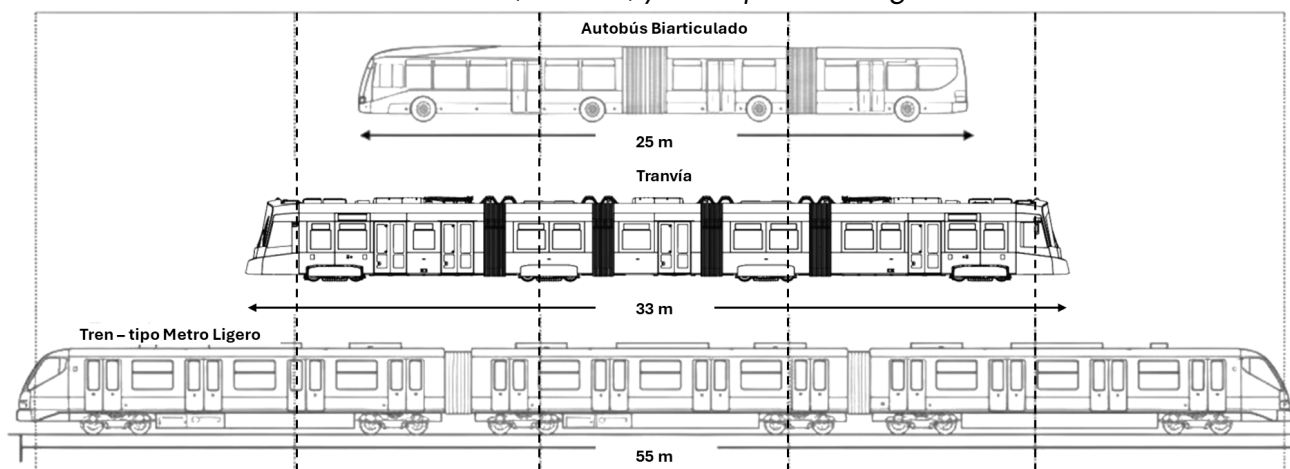
Se adoptó como premisa de la evaluación que, en términos de la organización institucional y administrativa del nuevo sistema de transporte de alta capacidad, el servicio será prestado por un único operador. Este esquema constituye, de hecho, el modelo predominante en líneas de metro y tren urbano.

En el caso de sistemas BRT totalmente segregados, existen experiencias tanto con operación a cargo de una única empresa como con participación de múltiples operadores. El contratante estableció como premisa de trabajo que la evaluación se concentre en un esquema de operador único también para la alternativa BRT.

4.3. Cuadros resumen

A continuación, se presenta un resumen de las características adoptadas para los corredores metropolitanos y las alternativas modales, dentro del análisis realizado en este documento.

Ilustración 8. Comparativa de los vehículos tipo empleados para el análisis: Ómnibus biarticulado, Tranvía, y tren tipo Metro Ligero



Elaboración propia con base en Ómnibus biarticulado de Metrobús CDMX (varias marcas), Tranvías Alstom Citadis y Stadler Tramlink, Metro ligero Alstom Metropolis.

Tabla 1. Requerimientos de demanda y oferta de los corredores metropolitanos para las diferentes alternativas modales analizadas.

Atributo	Troncal Común 18 de Julio	Corredor 8 de Octubre – Cno. Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio
Extensión (m)	3.379	15.004	28.337
Número de estaciones	6	32	42
Distancia entre estaciones (m)	563	469	675
Volumen de pasajeros (phs)	6.000	4.300	2.500
BRT			
Material rodante	Biarticulado 25m – 220 pasajeros		
Frecuencia de paso requerida	36	23	13
Intervalo de paso (min)	1,7	2,6	4,5
Tranvía / Tren Ligero			
Material rodante	Tram 5 módulos 33 m – 290 pasajeros		
Frecuencia de paso requerida	28	17	10
Intervalo de paso (min)	2,2	3,4	5,9
Metro Ligero			
Material rodante	Tren 3 vagones 55m – 600 pasajeros		
Frecuencia de paso requerida	13	8	5
Intervalo de paso (min)	4,5	7,1	12,2

c



Tabla 2. Características físico-funcionales de las alternativas modales analizadas

Requerimiento	BRT	LRT (Tren Ligero)	Metro Ligero
Infraestructura de Vía	Carriles exclusivos centrales , con pavimento de concreto o asfalto reforzado elementos de segregación de tránsito Sin carriles de rebase	Rieles y Catenaria. Generalmente a nivel de calle en derecho de vía exclusivo, pero sin separación a desnivel total.	Vía totalmente segregada (Túnel o Viaducto). No puede operar en calles normales.
Segregación del derecho de vía	Se consideran análisis en dos niveles - Nivel de segregación básico para todos los análisis, en situación a nivel. - Nivel de segregación total, con infraestructura a nivel y segmentación longitudinal de la vialidad o a desnivel (soterrado o elevado dependiendo las condiciones de entorno),	Se consideran análisis en dos niveles - Nivel de segregación básico para todos los análisis, en situación a nivel. - Nivel de segregación total, con infraestructura a nivel y segmentación longitudinal de la vialidad o a desnivel (soterrado o elevado dependiendo las condiciones de entorno)	Se consideran una segregación total del derecho de vía debido a los requerimientos funcionales del sistema; con infraestructura a nivel y segmentación longitudinal de la vialidad o a desnivel (soterrado o elevado dependiendo las condiciones de entorno),
Ancho de Carril / Vía para diseño de secciones críticas (por sentido)	3,5 metros en estación	3,5 metros por vía	3,5 metros por vía
Ancho de Estación (andén), para diseño de secciones críticas	4 metros en andén central	4 metros en andén central	4 metros por andén en configuración de andenes laterales
Vehículo de referencia	Biarticulado (25m). Capacidad total: 220 pax	Tren ligero de 5 módulos (33m) Capacidad total de: 290 pax	Tren de 3 vagones (55 m). Capacidad total: 600 pax.



Requerimiento	BRT	LRT (Tren Ligero)	Metro Ligero
Patios y Talleres	Flexible. Pueden ubicarse lejos del corredor (los buses viajan por calles normales para llegar).	Rígido. El patio debe estar físicamente conectado por rieles al corredor.	Rígido. Requiere grandes áreas conectadas a la red férrea.

Elaboración propia, con información paramétrica de los sistemas de transporte.



5. Análisis comparativo de modos

El análisis comparativo de alternativas modales tiene como objetivo evaluar de manera estructurada el desempeño relativo de diferentes opciones tecnológicas en los corredores priorizados, considerando sus implicaciones técnicas, operacionales y económicas, entre otras. El apartado busca aportar elementos objetivos que permitan comprender las condiciones bajo las cuales cada alternativa podría resultar más adecuada para el contexto del AMM y generar insumos para la toma de decisión respecto al desempeño de cada alternativa en el contexto de los corredores de interés: Camino Maldonado – Avenida 8 de Octubre, Avenida Giannattasio – Avenida Italia y la prolongación común a ambos en 18 de Julio.

En este sentido, la comparación no se limita a contrastar las características propias de cada tecnología, sino que incorpora variables asociadas a las características físicas de los corredores y de la estructura del sistema de transporte existente.

Este enfoque permite comprender cómo las distintas soluciones podrían responder de manera diferenciada a condiciones locales, como la disponibilidad de espacio vial, los niveles de demanda y la complejidad de las intersecciones, entre otros. El análisis se concentra en las tres opciones de tecnologías de transporte de mediana y alta capacidad definidas en el apartado 4: BRT en Carril Central, Tranvía/LRT, Metro Ligero.

Asimismo, el análisis adopta un principio de evaluación integral de los sistemas de transporte, considerándolos como componentes de una red metropolitana más amplia y no como intervenciones aisladas sobre un tramo específico. En este sentido, cada alternativa se examina en función de su capacidad para integrarse operacional y funcionalmente al sistema tronco-alimentado propuesto, su contribución a la mejora de la accesibilidad y su efectividad como medio de transporte para los pasajeros. Este enfoque busca trascender de perspectivas fragmentadas que tienden a analizar la infraestructura como un fin en sí mismo o a comparar únicamente atributos tecnológicos, priorizando en cambio el desempeño global del sistema en términos de calidad de servicio, confiabilidad, capacidad y articulación modal.

Para la estructuración de análisis se definieron componentes clave que inciden en la adopción de una alternativa modal, agrupados en cuatro dimensiones: i) factibilidad técnica, física y operacional; ii) desempeño operacional; iii) impacto y adaptación al sistema de transporte existente; y iv) aspectos económicos. A partir de estos criterios, se busca construir una lectura comparativa que facilite la interpretación de ventajas, limitaciones y riesgos asociados a cada opción, contribuyendo así a orientar discusiones estratégicas en etapas posteriores del proceso de planificación.



Para fines de este análisis, se retoman las características de las alternativas más viables a ser aplicadas en el contexto de Montevideo, para generar un análisis que sea conceptualmente equivalente entre modos, ajustado a las restricciones físicas y operativas de los corredores evaluados y orientado a identificar condiciones de aplicabilidad más que a establecer jerarquías absolutas entre tecnologías. De este modo, la comparación se plantea como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones estratégicas, basada en criterios técnicos explícitos y en la coherencia con las necesidades estructurales del STM.

Como parte del análisis comparativo, se incorporan escalas de colores aplicadas a los distintos criterios evaluados, con el objetivo de visualizar de manera sintética los niveles relativos de factibilidad para cada alternativa. Esta codificación permite identificar tanto condiciones favorables como puntos críticos o barreras potenciales para la implementación, funcionando como un recurso de apoyo para la lectura comparativa sin sustituir el análisis técnico detallado.

	Condiciones altamente favorables. No se identifican barreras significativas, y a pesar de que la viabilidad siempre depende de un análisis detallado del contexto local, se constatan condiciones muy favorables.
	Condiciones en general favorables. No se identifican barreras significativas, aunque la viabilidad depende de un análisis detallado del contexto local.
	Condiciones intermedias. Se identifican algunos elementos que pueden representar un desafío, por lo que su viabilidad depende de evaluaciones más detalladas.
	Condiciones con restricciones. Existen dificultades importantes asociadas al criterio evaluado, lo que implicaría intervenciones significativas.
	Condiciones desfavorables / punto crítico. Se identifican condiciones críticas o barreras significativas asociadas al criterio evaluado, que se traducen en una viabilidad muy limitada, salvo que se produzcan cambios sustantivos en el contexto o en el diseño del sistema



5.1. Factibilidad Técnica, Física y Operacional

La implementación de las alternativas modales depende de las características espaciales y geométricas del entorno urbano y de la red vial, las cuales pueden ser restricciones preexistentes o relacionadas a la necesidad de adecuaciones para viabilizar la implementación de una determinada solución.

5.1.1. Disponibilidad de espacio (secciones)

Este indicador analiza la viabilidad geométrica de implantar una alternativa modal dentro del ancho disponible en el derecho de vía existente. Se define como la **capacidad física del corredor urbano para alojar la infraestructura dedicada requerida por cada modo** (carriles exclusivos, estaciones y retornos), preservando un nivel mínimo de funcionalidad para el tráfico mixto y el espacio peatonal.

Este análisis requiere contar con la definición de la sección transversal, entendida no como un valor estático, sino como la suma variable de todos los componentes físicos indispensables para la operación segura del sistema. Mientras que en los tramos de circulación el ancho requerido se limita principalmente a carriles o vías, las necesidades de sección transversal se incrementan en las zonas de parada, donde se incorporan las plataformas de estación, separadores de seguridad y, en configuraciones de mayor capacidad, carriles adicionales de sobrepaso.

Esta variabilidad en los requerimientos de ancho de vía implica que un corredor puede resultar viable en gran parte de su trazado, pero presentar restricciones críticas en nodos específicos donde la sección requerida supera el espacio disponible.

En este contexto, el punto crítico de un determinado corredor representa el tramo de mayor demanda espacial y donde el derecho de vía presenta mayores restricciones, lo que plantea una barrera de viabilidad para el proyecto y que obliga expropiar terrenos, generar obra civil o buscar adaptaciones operativas.

La Tabla 3 presenta los anchos disponibles en las secciones de referencia de cada corredor, usadas como base para evaluar la factibilidad física de cada alternativa. Los valores corresponden al ancho ocupado por los carriles vehiculares, sin contabilizar el espacio adicional de las veredas. Así, este criterio se limita a cotejar los requerimientos de sección de cada solución *vis-a-vis* el ancho actualmente destinado a la circulación del tránsito motorizado. Adicionalmente a esta verificación, es fundamental en cualquier intervención de movilidad paralelamente evaluar también los componentes de



recualificación urbana y de destinación de áreas adecuadas para el flujo peatonal y de bicicletas.

Tabla 3. Disponibilidad de espacios- Caracterización de Secciones viales (sin veredas)

Sección vial	Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
Máximo (m)	26	>60	18
Mínimo (m)	16	22	13
Rango condición típica (m)	16 -26	22- 35	13 - 15

La Tabla 4 presenta el análisis de requerimientos de ancho de vía para cada alternativa modal, según distintos niveles de priorización y segregación en cada una, y la evaluación de esas configuraciones frente a las secciones disponibles (resumidas anteriormente en la Tabla 3).

Tabla 4. Evaluación de criterios de disponibilidad de espacio

Evaluación de requerimiento de sección vial	8 de octubre – Cno. Maldonado	Av. Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Requerimiento			
Mínimo: SIN carril de tránsito mixto por sentido		Bus+Est+Bus 3.5+4+3.5 =11 m (sin veredas)	
Mínimo: +1 carril de tránsito mixto x sentido		1mixto+Bus+Est+Bus+1mixto 3 + 3.5 + 4 + 3.5 + 3 =17 m (sin veredas)	
Con 2 carriles de tránsito mixto x sentido		2mixto+Bus+Est+Bus+2mixto 3 + 3 + 3.5 + 4 + 3.5 + 3 + 3 =23 m (sin veredas)	
Evaluación			
SIN carriles adicionales: Compatible con tramos restringidos al tránsito vehicular o segregados con soterramiento o elevados	Suficiente	Suficiente	Suficiente
+ 1 Carril mixto por sentido o 2 carriles en un solo sentido: Compatible con tramos con	Suficiente con espacios críticos	Suficiente	Suficiente con



Evaluación de requerimiento de sección vial	8 de octubre – Cno. Maldonado	Av. Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
restricciones de velocidad y flujo de tránsito mixto.			espacios críticos
+ 2 Carril mixto por sentido o un solo sentido: compatible con condiciones actuales de vialidad	Insuficiente	Suficiente con espacios críticos Suficiente Existen tramos en donde es viable considerar un carril central a nivel con segregación física y con pasos a desnivel o cruces vehiculares-ferroviarios señalizados	Insuficiente
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Requerimiento			
Mínimo: SIN carril de tránsito mixto por sentido		Tram+Est+Tram 3.5+4+3.5 =11 m (sin veredas)	
Mínimo: +1 carril de tránsito mixto x sentido		1mixto+Bus+Est+Bus+1mixto 3 + 3.5 + 4 + 3.5 + 3 =17 m (sin veredas)	
Con 2 carriles de tránsito mixto x sentido		2mixto+Bus+Est+Bus+2mixto 3 + 3 + 3.5 + 4 + 3.5 + 3 + 3 =23 m (sin veredas)	
Evaluación			
SIN carriles adicionales: Compatible con tramos restringidos al tránsito vehicular o segregados con soterramiento o elevados	Suficiente	Suficiente	Suficiente
+ 1 Carril mixto por sentido o un solo sentido: Compatible con tramos con restricciones de velocidad y flujo de tránsito mixto.	Suficiente con espacios críticos	Suficiente	Suficiente con espacios críticos



Evaluación de requerimiento de sección vial	8 de octubre – Cno. Maldonado	Av. Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
+ 2 Carril mixto por sentido o un solo sentido: compatible con condiciones actuales de vialidad	Insuficiente	Suficiente con espacios críticos Suficiente Existen tramos en donde es viable considerar un carril central a nivel con segregación física y con pasos a desnivel o cruces vehiculares-ferroviarios señalizados	Insuficiente
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Requerimiento			
Condición de diseño:	Considera su implementación en desnivel (soterrado o elevado), debido a que en los 3 corredores se presentan entornos densos y con vialidad estrecha como para realizar una segregación total a nivel.		
A desnivel (soterrado o elevado): andenes laterales	Anden + Tren + Tren + Andén		
	4 + 3.5 + 3.5 + 4 =15 m (sin acceso, vestíbulos o áreas tras-andén)		
A nivel: andén central	2 mixto + Tren + Andén + Tren + 2 mixto		
	3 + 3 + 3.5 + 4 + 3.5 + 3 + 3 =23 m (sin acceso por veredas o áreas tras andén)		
Evaluación			
A desnivel (soterrado o elevado): Se considera la restitución de la vialidad en superficie en condiciones semejantes a actuales	Suficiente	Suficiente Existen tramos en donde es viable considerar un carril central a nivel con segregación física y con pasos a desnivel o cruces vehiculares-ferroviarios señalizados	Suficiente con espacios críticos

5.1.2. Requerimientos de infraestructura

Este componente analiza la **infraestructura física y los sistemas tecnológicos necesarios para implantar cada modo**. Esto no se limita a la vía de circulación, sino que abarca también los componentes físicos requeridos para la operación del sistema. Este



indicador permite estimar el nivel de intervención urbana requerido para cada alternativa modal, lo que puede impactar en los tiempos de ejecución y costos de obra.

La Tabla 5 presenta el análisis de los requerimientos de infraestructura para cada criterio, asociados a las alternativas modales, en tanto que la Tabla 6 presenta el análisis de los criterios de requerimientos de infraestructura complementaria o de soporte. En la Tabla 7 se realiza una valoración de los criterios de infraestructura del corredor e infraestructura de soporte para cada alternativa, en función de las características de los corredores.

Tabla 5. Análisis de criterios de requerimientos de infraestructura del corredor

Infraestructura requerida en el corredor	BRT	LRT	Metro
Segregación física e infraestructura de vía	Bajo Preferiblemente carriles centrales exclusivos con separadores físicos (bordillos, bolaridos). Puede operar en túneles, viaductos o tramos mixtos si es necesario.	Medio Típicamente cuenta con tramos sin segregación y elevada integración con el entorno en zonas céntricas, mientras que otros tramos se opta por mayor infraestructura de segregación requería para elevar la velocidad operacional, pero no requiere segregación total (a diferencia del Metro).	Alto. Requiere segregación absoluta. Debe ir en túnel o viaducto elevado, o segregación total a nivel, generando una barrera urbana en caso de ser implementado a nivel.
Infraestructura de vía	Carriles de concreto/asfalto + Separadores físicos.	Rieles, durmientes y balasto o vía sobre hormigón y catenaria	Túneles, viaductos o losa estructural para soportar rieles, durmientes, balasto o vías sobre hormigón, catenaria o 3er riel
Infraestructura eléctrica y electromecánica específica	Nula o en casos específicos Generalmente no requiere dada la tecnología del ómnibus compatible con vialidad convencional	Obligatoria - pesada. Requiere sistema de catenaria, cableado, subestaciones, sistemas y elementos de vía, sistemas de control y telecomunicaciones. Costos de mantenimiento y reposición son elevados.	Obligatoria y muy pesada. Requiere tercer riel o catenaria de alta tensión, cableado y subestaciones, sistemas y elementos de vías sistemas de control y telecomunicaciones, sistemas de ventilación y protección contra incendios. Costos de mantenimiento y reposición son elevados.
Accesos (estaciones) a nivel: Pasos a nivel y pasarelas.	Generalmente a nivel con rampas hacia andenes. En sistemas de alta demanda, requiere pasarelas cerradas.	Similar al BRT, pero puede requerir andenes más largos (hasta 90m) dependiendo de la composición del tren o por anden central.	NA



Infraestructura requerida en el corredor	BRT	LRT	Metro
Accesos (estaciones) a desnivel: Escaleras mecánicas, ascensores, rampas, escaleras y vestíbulos	Necesarios para bajar al túnel o subir al viaducto. Requerimientos de espacio, complejidad de proyecto y costos elevados.		
Estaciones	Baja: Andenes, cubiertas, alumbrado sistemas de peaje e información a usuarios.	Intermedia: Andenes, cubiertas, alumbrado sistemas de peaje e información a usuarios, con incremento en dimensiones por longitud de los vehículos. Nodos y puntos de alimentación de infraestructura eléctrica y de control.	Alta: Andenes, cubiertas, alumbrado sistemas de peaje e información a usuarios, con incremento significativo en dimensiones por longitud de los vehículos y condición de segregación. Espacios y requerimientos específicos de infraestructura electromecánica.

La infraestructura de soporte se conforma por las instalaciones destinadas a cumplir múltiples tareas logísticas, técnicas y operativas esenciales para el mantenimiento diario de las flotas. Los requerimientos tienden a ser más altos en los modos que cuentan con menor flexibilidad operativa. Además de su complejidad técnica, estos equipamientos implican demandas significativas de superficie, cuya magnitud varía según el modo y puede generar presiones sobre el suelo urbano disponible, afectar la localización de actividades existentes y requerir procesos de adquisición de predios o relocalización.

La ubicación de estas instalaciones también incide en la eficiencia operativa del sistema, ya que mayores distancias entre patios y corredores pueden incrementar los recorridos en vacío y, en consecuencia, los costos de operación.

Tabla 6. Análisis de criterios de requerimientos de infraestructura complementaria o de soporte

Infraestructura complementaria	BRT	LRT	Metro
Ubicación de Predios	Puede dispersarse en terrenos periféricos de bajo costo, no adyacentes al troncal.	Limitada a predios adyacentes a la línea o conectados por "vías muertas" costosas.	Limitada a predios de gran tamaño adyacentes a la línea o conectados por "vías muertas" costosas.



Infraestructura complementaria	BRT	LRT	Metro
Conectividad al Patio	Flexible: Acceso a través de la malla vial urbana existente sin infraestructura especial.	Rígida: Requiere extensión de vías férreas y electrificación hasta el predio del taller.	Rígida: Requiere ramales ferroviarios exclusivos y segregados hasta el taller.
Radio de Giro y maniobras	Radio Corto: Alta maniobrabilidad en espacios reducidos (retornos en "U" simples).	Medio – bajo: Para cambios de dirección en el trazo, el radio de giro es limitado por la fricción riel-rueda hasta mínimos de 20 – 25 m. Para retornos en terminal, operan con vehículos bidireccionales sin necesidad de efectuar retornos en U.	Amplio: Requiere mayores radios de curvatura, con rangos de 80-100 m curvas "cerradas" con impacto significativo a la velocidad de operación. Requiriendo obras con impactos en el entorno, para habilitar radios de giro en espacios confinados. Para retornos en terminal, operan con vehículos bidireccionales sin necesidad de efectuar retornos en U.
Infraestructura Interna en patios	Pavimento reforzado, surtidores de energía/combustible y talleres estándar.	Vías, fosas especializadas, catenaria interna y equipos electromecánicos de talleres pesados.	Vías, fosas especializadas, catenaria interna y equipos electromecánicos de talleres pesados, de mayores dimensiones, complejidad y costo que en los casos LRT – TRAM



Tabla 7. Evaluación de criterios de requerimientos de infraestructura

Descripción del requerimiento de infraestructura	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel sin segregación total	Básico: Infraestructura básica de referencia de los sistemas de alta capacidad: andenes, cubiertas, cerramientos mínimos, accesos a nivel, equipamiento básico de estaciones y segregación de carpeta asfáltica		
Solución totalmente segregada (a desnivel)	Medio – Incremento por el requerimiento de obra civil y electromecánica de estaciones, con impacto significativo en costos, con bajos requerimientos de integración técnica por requerimientos tecnológicos básicos de los sistemas de buses		
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel sin segregación total	Medio – Obra civil con requerimiento semejantes al BRT, sin embargo, los requerimientos de electromecánica del proyecto y la obra de instalación de vía lo diferencian de la obra vial común.		
Solución totalmente segregada (a desnivel)	Elevado – Se conjugan requerimientos de obra civil y electromecánica de sistemas férreos.		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Solución segregada a desnivel	Muy elevado – Se conjugan requerimientos de obra civil y electromecánica de sistemas férreos, muy pesados por características específicas de la tecnología y dimensiones de los trenes.		

5.1.3. Densidad de cruces vehiculares

Este criterio analiza **el impacto que tiene la densidad y configuración de las intersecciones viales sobre el desempeño de los corredores de transporte masivo**, particularmente cuando se estos se implementan en superficie dentro de la trama vial existente. Las intersecciones constituyen los principales puntos de conflicto y potenciales demoras al concentrar interacciones entre flujos vehiculares, peatonales y del sistema de transporte público.



En corredores de transporte masivo a nivel, la presencia y frecuencia de cruces viales influyen directamente en el desempeño operacional del sistema, en la velocidad comercial y en las condiciones de seguridad vial. Para mitigar estos efectos, suelen requerirse intervenciones como priorización semafórica, restricciones de giros conflictivos y, en intersecciones con altos niveles de saturación, la implementación selectiva de soluciones a desnivel. Asimismo, los corredores deben gestionar la coexistencia con cruces peatonales tanto en intersecciones formales como en puntos intermedios de los bloques urbanos.

Adicionalmente, la densidad de intersecciones tiene implicaciones relevantes durante la fase constructiva del proyecto, independientemente de la alternativa tecnológica adoptada. En soluciones a nivel, las intersecciones requieren tratamientos específicos de nivelación, señalización y semaforización, así como la adecuación de cruces ferroviarios en el caso de sistemas tipo LRT. Por su parte, en proyectos que incorporan tramos subterráneos mediante métodos de excavación a cielo abierto (túnel somero), suele ser necesario interrumpir temporalmente los flujos transversales durante las etapas de construcción, hasta la restitución de la superficie de rodamiento. Estas intervenciones implican la reconstrucción de las intersecciones y la reubicación o reinstalación de infraestructura urbana existente, como redes eléctricas, cableado de semaforización y otros servicios, cuyos plazos y niveles de afectación dependen del método constructivo y de la secuencia de obra adoptada.

LRT: Requiere mayor tiempo de fase que el BRT en caso de giro y fases adelantadas, debido a los tiempos de aceleración-frenado y longitud del tren, así como la velocidad a la que se realizan las maniobras para evitar colisiones. Requiere de una liberación total de las trayectorias del cruce (vías férreas) debido a la incapacidad de maniobrar y salir del trazo de vía, lo cual puede generar demoras adicionales en intersecciones saturadas. En casos con alta densidad de cruces transversales la velocidad de operación se reduce significativamente; mientras que en casos con segregación de la vía o cierre de algunas intersecciones se puede generar un efecto de barrera urbana.

BRT: Como parte de la concepción del BRT, se considera que los corredores cuenten con prioridad semafórica para mejorar las velocidades y la capacidad del corredor. Los sistemas basados en buses se comportan como cualquier vehículo en intersecciones, pudiendo tener fases muy cortas o fases adelantadas con menores requerimientos y restricciones de diseño e infraestructura que los sistemas de rieles y trenes. Aunque las distancias y tiempos de frenado y aceleración de los autobuses son menor, en tramos con alta densidad de cruces transversales la velocidad de operación se reduce significativamente; mientras



que en casos con segregación de la vía o cierre de algunas intersecciones se puede generar un efecto de barrera urbana.

Metro: Por su parte, el metro opera bajo un esquema de segregación total, por lo que no es afectado por estas intersecciones en su desempeño operativo, permitiendo una velocidad y operación constante. El impacto al proyecto de la densidad de intersecciones viales se centra en la fase constructiva.

Los resultados presentados en la Tabla 8, permiten observar las diferencias operacionales entre modos, que determinan las distancias de frenado en condiciones de frenado de emergencia para sistemas tipo tren (LRT/Metro) y ómnibus (BRT) considerando rangos representativos de desaceleración para cada modo. Estos valores reflejan diferencias inherentes a cada tecnología, asociadas a factores como la adherencia rueda-riel vs. neumático-pavimento, las condiciones de confort y seguridad, así como las características de operación de cada sistema.

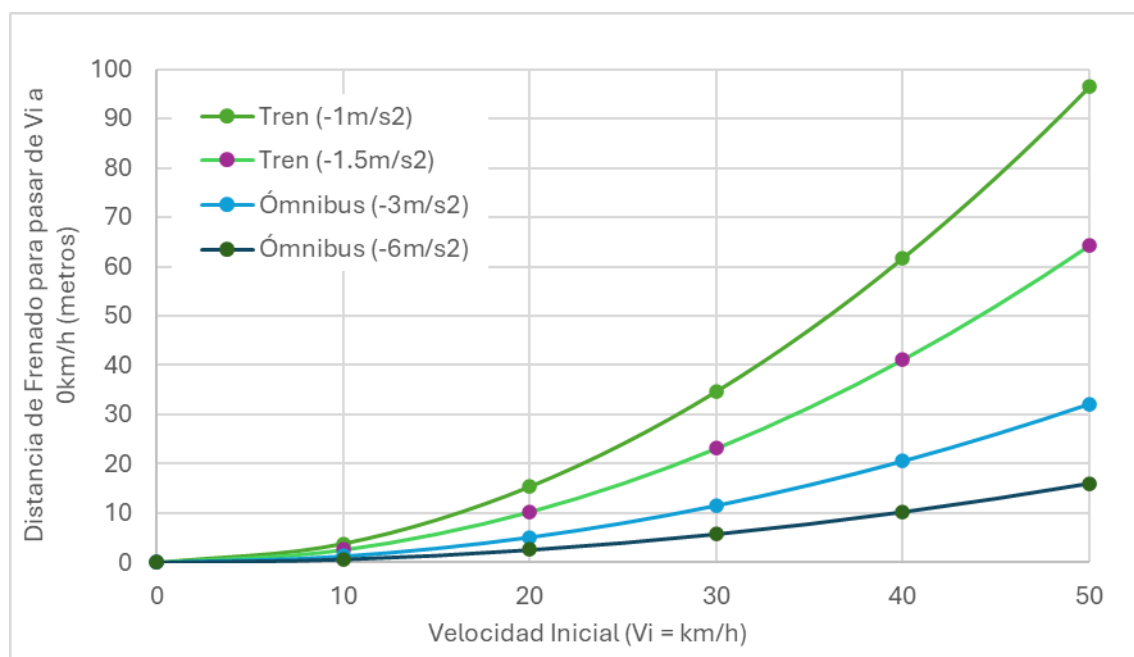
Tabla 8. Distancia de frenado de emergencia por tipo de vehículo

Velocidad Inicial (km/h)	Distancia total de frenado (m)			
	Tren (-1m/s ²)	Tren (-1.5m/s ²)	Ómnibus (-3m/s ²)	Ómnibus (-6m/s ²)
100	386	257	129	64
90	313	208	104	52
80	247	165	82	41
70	189	126	63	32
60	139	93	46	23
50	96	64	32	16
40	62	41	21	10
30	35	23	12	6
20	15	10	5	3
10	4	3	1	1

Elaboración propia, con información de especificaciones técnicas generales de trenes y Bus Safety Standard, TFL, 2022



Gráfica 4. Distancia de frenado hasta alto total (0 km/h) en condiciones de frenado de emergencia



Elaboración propia, con información de especificaciones técnicas generales de trenes y ómnibus.

Los resultados muestran diferencias en la distancia requerida para detener completamente los vehículos. Por ejemplo, a una velocidad de **30 km/h**:

- Un sistema ferroviario requiere entre **23 y 35 metros** para detenerse.
- Un ómnibus tipo BRT requiere entre **6 y 12 metros**.

La Tabla 9 muestra los parámetros de referencia para cada tramo de cada corredor, con el número total de cruces y las distancias promedio entre cruces. La Tabla 10 presenta la evaluación de los distintos tipos de segregación (a nivel y soterrada) para cada alternativa en cada tramo de los corredores.

Tabla 9. Número de cruces y distancias típica entre cruces en cada corredor

Parámetro	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
	8 de oct	Av. Italia	18 de julio
Cruces vehiculares	44	43	31
Distancia entre intersecciones (m)	140	300	110
	Camino Maldonado	Av. Giannattasio	
Cruces	46	29	–
Distancia entre intersecciones (m)	200	530	–



Tabla 10. Evaluación de criterios de densidad de cruces

Impacto en proyecto (velocidad + volumen de obra + riesgos)			
	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Requerimiento:	La solución a nivel requiere cruces vehiculares a nivel y peatonales regulados mediante intersecciones semaforizadas, así como tratamiento e intersecciones seguras, prioridad semafórica con posibilidad a fases exclusiva o adelantada		
Solución a nivel sin segregación total	8 de Oct: – Medio – Alto Intervención de intersecciones – Alta , Velocidad operativa media – baja , Riesgos de seguridad vial Medios	Av. Italia: – medio Intervención de intersecciones media , Velocidad operativa media – alta , Riesgos de seguridad vial – Medio	18 de Julio: – Muy alto Intervención de intersecciones – Alta , Velocidad operativa baja , Riesgos de seguridad vial – alto
	Con. Maldonado: – bajo Intervención de intersecciones media , Velocidad operativa media , Riesgos de seguridad vial – Bajos por densidad vehicular	Giannattasio: – bajo Intervención de intersecciones baja , Velocidad operativa media – alta , Riesgos de seguridad vial – Bajo	–
Solución totalmente segregada a desnivel	8 de Oct – medio Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – Alta	Av. Italia –bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – media	18 de Julio – Medio Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – Alta
	Con. Maldonado – bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – media	Giannattasio – bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – baja	–



Impacto en proyecto (velocidad + volumen de obra + riesgos)		Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m				
Requerimiento:	La solución a nivel requiere cruces vehiculares a nivel y cruces peatonales regulados mediante intersecciones semaforizadas que podría tener un mayor impacto en la operación que el BRT debido a requerimiento de vía férrea y mayores tiempos de aceleración y frenado.			
Solución a nivel sin segregación total	8 de Oct: – Medio – Alto Intervención de intersecciones – Alta , Velocidad operativa media – baja , Riesgos de seguridad vial Medios	Av. Italia: – medio Intervención de intersecciones media , Velocidad operativa media – alta , Riesgos de seguridad vial – Medio	18 de Julio: – Alto Intervención de intersecciones – Alta , Velocidad operativa baja , Riesgos de seguridad vial – alto	
	Con. Maldonado: – bajo Intervención de intersecciones media , Velocidad operativa media , Riesgos de seguridad vial – Bajos por densidad vehicular	Giannattasio: – bajo Intervención de intersecciones baja , Velocidad operativa media – alta , Riesgos de seguridad vial – Bajos	–	
Solución totalmente segregada a desnivel	8 de Oct – medio Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – Alta	Av. Italia –bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – media	18 de Julio – Medio Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – Alta	
	Con. Maldonado – bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – media	Giannattasio – bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos . Intervención de intersecciones – baja	–	



Impacto en proyecto (velocidad + volumen de obra + riesgos)			
	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Requerimiento:	La operación de los sistemas tipo Metro con los cruces vehiculares es incompatible debido a la lógica de alta velocidad y frecuencia, características de los sistemas de señalización ferroviaria que requieren certeza absoluta de las condiciones del sistema (segregación) y el riesgo inaceptable en cruces. La importancia de la densidad de cruces en el proyecto radica en la afectación a los cruces vehiculares y peatonales transversales en la fase constructiva.		
Solución segregada a desnivel	8 de Oct – medio Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos. Intervención de intersecciones – Alta	Av. Italia –bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos. Intervención de intersecciones – media	18 de Julio – Medio Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos. Intervención de intersecciones – Alta
	Con. Maldonado – bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos. Intervención de intersecciones – media	Giannattasio – bajo Velocidad operativa y seguridad vial – Sin impactos. Intervención de intersecciones – baja	–



5.1.4. Nodos especiales / casos particulares

El tratamiento de nodos especiales constituye un criterio relevante en el análisis comparativo de alternativas modales. Representan nodos críticos de los corredores, los cuales incluyen puntos que concentran altos flujos vehiculares y peatonales, intercambios modales, centralidades urbanas y, en muchos casos, secciones con restricciones geométricas o infraestructuras existentes que condicionan el diseño del corredor. A diferencia de los tramos lineales, los nodos determinan la viabilidad final del sistema, su continuidad operacional, el nivel de intervención urbana requerido y una proporción significativa de los costos de inversión.

En sistemas de transporte de alta capacidad, la resolución técnica de los nodos críticos puede definir la necesidad de soterramientos, viaductos, reorganización profunda del tránsito o rediseños urbanos de gran escala. Por ello, más que la sección tipo del corredor, son los nodos especiales los que suelen convertirse en un factor diferenciador entre alternativas como BRT, LRT o Metro.

La Tabla 11 aborda el desempeño de cada alternativa en los distintos nodos especiales y casos particulares de los corredores analizados.

Tabla 11 . identificación de nodos especiales y casos particulares de los corredores, y requerimientos de pendiente por alternativa

Nodos especiales y requerimientos de infraestructura	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannatassio	Troncal Común 18 de Julio
Nodo integración de los 3 corredores	Intercambiador Tres Cruces	Intercambiador Tres Cruces	Intercambiador Tres Cruces
Puntos de integración modal y con entorno	Intercambiador Belloni	Costa Urbana	Plaza de Independencia
Intersecciones críticas con requerimientos de soterramiento por flujos viales	Soterramiento Intersección Batlle y Ordóñez Soterramiento Intersección Luis Alberto de Herrera	Soterramiento Intersección Batlle y Ordóñez Soterramiento Intersección Luis Alberto de Herrera Soterramiento Intersección Avenida Bolivia Adecuación del cruce soterrado de Av. Centenario	NA



Tabla 12 . Características de las pendientes de diseño de rampas para cada alternativa

Pendientes de diseño de rampas para transición soterrado – superficie	BRT	LRT	Metro Ligero
Pendiente máxima de diseño	10%	7%	4%
Diferencia de nivel (m)	4,50		
Distancia de la pendiente para transición (m)	45	64	112
Diferencia vs ómnibus (%)	-	43%	150%

Tabla 13. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores

Análisis de los nodos especiales	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Nodo de integración de los 3 corredores (Tres Cruces)	Elevado. El principal reto es la solución de obra civil en varios niveles para dar viabilidad a la integración física de los 3 corredores, los accesos peatonales y los flujos vehiculares existentes. Los estudios actuales conceptualizan una solución en 2 niveles para los corredores 8 de octubre e Italia en la avenida 18 de julio.		
Puntos de integración modal y con entorno	Bajo. Requerimientos de estación básicos y conectividad subterránea o a nivel ya prevista en el área del Intercambiador	Bajo. Requerimientos de estación básicos con posible solución a nivel conectividad.	Bajo. cierre de circuito puede realizarse en entrono de la Plaza con obras de recualificación de entrono. Transición soterrado- a nivel es factible.
Intersecciones críticas con requerimientos de soterramiento por flujos viales	Bajo – 2 intersecciones. Menor requerimiento de distancia de transiciones.	Medio – 4 intersecciones. Menor requerimiento de distancia de transiciones. + Necesidad de adecuar intersección soterrada actualmente (Av. Centenario).	NA – no hay casos



Análisis de los nodos especiales		Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Tranvía / Tren Ligero - Tram 5 módulos 33m				
Nodo de integración de los 3 corredores (Tres Cruces)	Muy elevado. Además del proyecto arquitectónico y civil que permita la integración física deben considerarse elementos de integración de los sistemas ferroviarios para los cuales habría espacio preliminarmente en los espacios disponibles en el nodo. El desarrollo de la transición de niveles requiere mayores pendientes para el LRT que para la solución de referencia desarrollada para el BRT. Los radios de giro de esta tecnología no agregan complejidad a esta solución.			
Puntos de integración modal y con entorno	Bajo: Requerimientos de estación básicos y conectividad subterránea o a nivel ya prevista en el área del Intercambiador	Bajo: Requerimientos de estación básicos con posible solución a nivel conectividad.	Medio. Cierre de circuito puede realizarse en entrono de la Plaza con ajustes geométricos menores para radios de giro y obras de recualificación de entrono. Transición soterrado-a nivel es factible.	
Intersecciones críticas con requerimientos de soterramiento por flujos viales	Medio - 2 intersecciones - Pendientes de diseño de vía aumentan 42% la distancia sin necesariamente impactos adicionales a nivel técnico.	Elevado - 4 intersecciones - Pendientes de diseño de vía aumentan 42% la distancia sin necesariamente impactos adicionales a nivel técnico. Mayor presencia de intersecciones soterradas requeridas y necesidad de adecuar intersección soterrada actualmente (Av. Centenario).	NA - no hay casos	



Análisis de los nodos especiales	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Metro Ligerio – Tren 3 vagones 55m			
Nodo de integración de los 3 corredores	Muy elevado. Además del proyecto arquitectónico y civil y requerimientos de integración de sistemas ferroviarios, los requerimientos geométricos de pendientes, radios de giro y distancias de paro, agregan complejidad a la intervención.		
Puntos de integración modal y con entorno	Medio. Requiere estación con requerimientos estructurales más elevados. Conectividad subterránea ya prevista en el área del Intercambiador	Medio. Requiere estación con requerimientos estructurales más elevados. Y diseño de conectividad con Centro Costa Urbana.	Muy elevado. La solución de la Terminal Plaza de Independencia tendría que suceder a totalmente a desnivel por condiciones de entorno y requerimientos de la tipología, implicando una obra de gran escala con impacto general al plaza y zonas aledañas.
Intersecciones críticas con requerimientos de soterramiento por flujos viales	NA. Premisa de implementación a desnivel elimina interferencia	Medio. Pendientes de diseño de vía aumentan 150% veces la distancia de transiciones, con impacto únicamente en intersección soterrada actual.	NA. No hay casos



5.2. Desempeño Operacional

5.2.1. Capacidad nominal

La capacidad nominal se define como el **número máximo de pasajeros por hora por sentido (phs) que un sistema puede transportar en su sección más cargada durante la hora pico**, asumiendo condiciones operativas sostenibles y un nivel de confort aceptable para las personas usuarias. En consecuencia, este indicador debe interpretarse como un umbral de referencia operacional y no como la capacidad máxima teórica del sistema.

Para este criterio se propone utilizar como indicador el “margen de capacidad del sistema” respecto a la tipología preliminar considerada en este estudio. Si bien en sistemas ferroviarios como LRT o Metro es técnicamente posible incrementar la capacidad mediante el acoplamiento de vehículos adicionales o la ampliación del número de módulos por tren, estas modificaciones requieren condiciones de diseño específicas, tales como mayor longitud de andenes, tolerancias geométricas adecuadas, mayores distancias de maniobra, capacidad suficiente en patios y talleres, así como ajustes en los sistemas de señalización y operación. De manera similar, en sistemas BRT también es posible ampliar la capacidad mediante ajustes en andenes y la programación operativa. No obstante, dichas adaptaciones implicarían un rediseño de los parámetros operativos e infraestructurales considerados. Por este motivo, para efectos comparativos en este estudio se evalúan las alternativas modales hasta una capacidad máxima asociada a la tipología de vehículo y configuración operativa definida en el prediseño, permitiendo una comparación homogénea entre sistemas.

Si bien la “Capacidad” no es un objetivo por sí mismo de un sistema de transporte, este indicador permite evaluar la **adecuación relativa de cada tecnología respecto a los niveles de demanda observados en los corredores de estudio**, evitando tanto el sobredimensionamiento de soluciones de alta capacidad como la selección de alternativas que operen cercanas a su límite físico desde etapas tempranas.

El cálculo de la capacidad nominal incorpora la capacidad del vehículo, la frecuencia máxima sostenible y un factor de ocupación de diseño estandarizado, generalmente entre el 85% y el 90% de la capacidad nominal del vehículo, utilizado para evitar escenarios de hacinamiento como condición estructural de operación.

El dimensionamiento no se basa en el promedio de carga a lo largo de toda la línea, sino en el segmento de mayor demanda entre dos estaciones consecutivas. Si la oferta de la alternativa seleccionada es suficiente para atender la demanda en este tramo crítico, se



considera que la alternativa modal cuenta con la capacidad necesaria para operar dentro de márgenes adecuados de desempeño. En este sentido, aunque la capacidad del vehículo constituye un límite físico del sistema, la capacidad efectiva del corredor está determinada principalmente por la frecuencia máxima sostenible, la cual depende del grado de segregación del derecho de vía y de las características de infraestructura y tecnología propias de cada modo.

- **BRT:** El límite operativo suele estar asociado a la saturación de las estaciones y el grado de prioridad semafórica. Para un sistema como el considerado en este estudio (carril exclusivo sin sobrepaso con andén para 1 vehículo), los cálculos de capacidad muestran la posibilidad de operar con frecuencias entre los 60 y 80 vehículos por hora en función del tiempo de parada y la prioridad semafórica del corredor. Sin embargo, estos niveles de frecuencia tienen implicaciones de apelotonamiento estaciones, saturación de intersecciones, andenes, entradas y salidas de estación. Por este motivo para fines de esta comparación se utiliza como frecuencia máxima de diseño del sistema BRT el valor de 60 buses/hora, que permite alcanzar capacidades del orden de 11.000–13.000 phs.
- **LRT (en superficie):** La frecuencia se encuentra condicionada por la coordinación semafórica, los flujos transversales y los mecanismos de conducción del tren. Los sistemas férreos, cuentan con varios niveles de señalización ferroviaria y de automatización de la conducción que tiene implicaciones en los niveles de riesgo del sistema y su capacidad. El intervalo mínimo actualmente considerado como el estándar de la industria es de 90 segundos (45 buses/hora) en condiciones de conducción automática y segregación total de la vía, para sistemas tipo LRT más próximos a las características de un Metro.; sin embargo, lograr este desempeño depende directamente de la configuración de las maniobras en terminal y tramos interoperables, en caso de existir, así como sistemas y equipamientos abordó que permiten las actuaciones del sistema de control automática. Para un sistema tipo tranvía, con conducción manual y con algunas intersecciones, una frecuencia de 30 buses/hora representa una frecuencia alcanzable, que se establece como frecuencia máxima de diseño para este estudio. En general, frecuencias superiores a 20 trenes/hora comienzan a generar impactos relevantes en la red vial, situando su capacidad típica en rangos de 10.000–12.000 phs.
- **Metro:** Al operar completamente segregados, el límite operativo está definido principalmente por los sistemas de señalización y los tiempos de parada. Al igual que los sistemas LRT, el intervalo mínimo teórico de 90 segundos depende directamente de la configuración de las maniobras en terminal y tramos interoperables, en caso de existir. Para un sistema con automática o con sistema



de protección anticolidión (ATP) una frecuencia de 30 trenes/hora representa una frecuencia alcanzable, que se estable como frecuencia máxima de diseño para este estudio.

La Tabla 14 presenta la evaluación de la capacidad nominal de las alternativas de transporte, considerando sus requerimientos.

Tabla 14. Evaluación de la capacidad nominal

Margen de capacidad de la infraestructura	Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio (2)
Vp =Volumen de pasajeros (phs)	4,300	2,500	6,800
BRT - Biarticulado 25m			
Requerimiento	Capacidad estimada para el sistema BRT con carril exclusivo, sin carril de sobrepaso.		
Capacidad estimada:	Capacidad vehicular x Frecuencia Máxima Sostenible x Factor de Ocupación 220 x 60 x 0.85 (1) = 11.200 phs		
Evaluación	62%	78%	39%
Mc = 100% - (Vp/Cap)	La tipología ofrece una capacidad suficiente para atender el volumen de demanda esperado, con margen suficiente de crecimiento para atender los picos de demanda y crecimiento.		
Tranvía / Tren Ligero - Tram 5 módulos 33 m			
Requerimiento	A nivel de calle, sistema con prioridad semafórica (fases de 90 - 120 seg), con protección ante giros de flujo mixto.		
Capacidad estimada:	Capacidad vehicular x Frecuencia Máxima Sostenible x Factor de Ocupación 290 x 30 x 0.85 (1) = 7.395 phs		
Evaluación	42%	66%	8%
Mc = 100% - (Vp/Cap)	La tipología ofrece una capacidad suficiente para atender el volumen de demanda esperado, con margen suficiente de crecimiento para atender los picos de demanda y crecimiento.		
Metro Ligero - Tren 3 vagones 55m			
Requerimiento	Sistema en vía sencilla, con Nivel de Automatización mínimo (GoA) 5 "2"		
Capacidad estimada:	Capacidad vehicular x Frecuencia Máxima Sostenible x Factor de Ocupación		

⁵ Grade of Automation.



Margen de capacidad de la infraestructura	Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio (2)
$V_p = \text{Volumen de pasajeros (phs)}$	4,300	2,500	6,800
		$600 \times 30 \times 0.85 \text{ (1)}$ $= 15.300 \text{ phs}$	
Evaluación	72%	84%	56%
$Mc = 100\% - (V_p/Cap)$	La tipología ofrece una capacidad suficiente para atender el volumen de demanda esperado, con margen suficiente de crecimiento para atender los picos de demanda y crecimiento.		

Nota: (1) para el cálculo de la capacidad estimada, se incorpora el factor de ocupación del 85% como parámetro de dimensionamiento que incorpora holgura cálculo de la oferta ante variaciones del comportamiento oferta demanda.

(2) Los corredores 8 de Octubre y Av. Italia registran sus máximos volúmenes de pasajeros antes de alcanzar el tramo de Av. 18 de Julio. No obstante, para la evaluación del margen de capacidad de las alternativas modales se agregan directamente estos volúmenes, con el objetivo de estimar el desempeño del sistema bajo el escenario de consolidación de la demanda de ambos corredores en un único corredor troncal.

5.2.2. Puntualidad y regularidad en el servicio

La confiabilidad en los sistemas de transporte se define como la consistencia y previsibilidad del servicio de transporte. Este indicador **mide la capacidad del sistema para cumplir con los itinerarios programados (puntualidad) y mantener intervalos de paso constantes (regularidad)** entre vehículos, minimizando la variabilidad del tiempo de viaje percibido por el usuario.

La confiabilidad depende tanto de factores internos (mantenimiento y gestión operativa) como de condiciones externas (congestión, incidentes o clima), y está directamente asociada al nivel de segregación del sistema y a la capacidad de cada modo para adaptarse a interrupciones operativas.

- **BRT:** Se considera que puede lograr niveles elevados de confiabilidad mediante carriles segregados, combinado con sistemas inteligentes de control de tránsito. El monitoreo en tiempo real permite ajustar frecuencias y espaciamiento entre vehículos para mantener intervalos regulares. Sin embargo, su operación en superficie implica exposición a condiciones externas y a la dinámica de las intersecciones



- **LRT:** Se considera que este sistema puede alcanzar altos niveles de confiabilidad operacional gracias a los derechos de vía exclusivos, el uso de sistemas de señalización ferroviaria y prioridad semafórica activa. Sin embargo, su operación en superficie implica exposición a condiciones externas y a la dinámica de las intersecciones, teniendo la desventaja con respecto al BRT de la incapacidad de maniobrar ante casos de interferencias en la vía.
- **Metro:** Representa el mayor estándar de confiabilidad. Su operación completamente segregada minimiza la interacción con factores externos, mientras que los sistemas avanzados de señalización y control automático permiten mantener intervalos de paso altamente regulares y una puntualidad consistente incluso en escenarios de alta demanda.

La Tabla 15 resume las principales características de sistemas de tránsito rápido, relevantes para los objetivos de confiabilidad del servicio para cada modo de transporte de referencia establecidos en la literatura técnica, diferenciando entre tecnologías y nivel de segregación. La Tabla 16 describe parámetros clave asociados a condicionantes para la confiabilidad para cada corredor. Y finalmente la Tabla 17 evalúa el nivel de confiabilidad general de cada alternativa en cada corredor según los parámetros analizados.

Tabla 15. Análisis de parámetros asociados a la confiabilidad de cada modo de referencia.

Criterio	BRT	BRT (con mayor segregación)	LRT (con mayor convivencia con tránsito mixto)	LRT (con mayor segregación)	Metro – HRT
Porcentaje del derecho de vía totalmente segregado	< 40%	40 a 90%	< 40%	40 a 90%	100%
Control de conducción	Conducción manual semaforizado y señalizado	Conducción manual semaforizado y señalizado	Marcha a la vista señalizado	Marcha a la vista señalizada o con protección	Señalizado y automatizado
Andén en estación y control de acceso	Cualquier tipo: Plataforma baja o alta; con o sin control de acceso	Cualquier tipo: Plataforma baja o alta; con control de acceso	Plataforma baja - sin control de acceso	Cualquier tipo: Plataforma baja o alta; con control de acceso	Totalmente controlado, plataforma alta
Confiabilidad	Regular - Buena	Buena	Regular - Buena	Buena	Muy buena

Fuente: Elaboración propia y actualización, con base en Vuchic, et.al. 1975.



Tabla 16. Parámetros asociados a condicionantes para la confiabilidad para cada corredor

Criterio	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Distancia entre intersecciones (ver criterios de Factibilidad técnica)	Medio (100 - 200 m)	Alta (300 - 400 m)	Baja (>110m)
Tránsito mixto y peatonal	Tramos con congestión vial, flujos transversales densos y tránsito peatonal	Tramos con congestión vial, flujos transversales densos y tránsito peatonal	Tramos con congestión vial, flujos transversales densos y tránsito peatonal
Obstrucciones de vialidad	Media, por incidencia de eventos deportivos	Baja	Frecuente por incidencia de manifestaciones y bloqueos

Para la evaluación de este criterio de confiabilidad del servicio, se adopta una perspectiva centrada en la regularidad y puntualidad bajo condiciones de operación ordinaria. Los aspectos relacionados con el desempeño de los sistemas frente a situaciones excepcionales o contingencias se abordan posteriormente en el apartado 5.3, donde se incorporan elementos adicionales de análisis bajo el concepto de “Flexibilidad y resiliencia operativa” de los sistemas.



Tabla 17. Evaluación de factores clave de confiabilidad

Puntualidad y regularidad en el servicio	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel sin segregación total	Regular. Afectaciones por intersecciones e incidentes viales.	Buena. Menor afectación por baja densidad de intersecciones.	Baja. Afectaciones por intersecciones frecuentes, densidad vehicular y peatonal, incidentes viales y peatonal y bloqueos de vialidad.
Solución totalmente segregada a desnivel	Buena. Sin intersecciones y baja probabilidad de incidencias.		
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel sin segregación total	Regular. Afectaciones por intersecciones e incidentes viales	Buena. Menor afectación por baja densidad de intersecciones	Baja. Afectaciones por intersecciones frecuentes, densidad vehicular y peatonal, incidentes viales y peatonal y bloqueos de vialidad.
Solución totalmente segregada a desnivel	Buena. sin intersecciones y baja probabilidad de incidencias		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55 m			
Conducción automatizada con segregación total	Muy buena. Sin interferencias y conducción y control automático del sistema		



5.2.3. Tiempos de espera

Este indicador mide el **tiempo promedio que transcurre desde que la persona usuaria llega al andén hasta que aborda la unidad**. Su valor está determinado principalmente por dos factores operativos: la frecuencia del servicio (cantidad de vehículos por hora) y, de manera crítica, la regularidad del intervalo entre vehículos (*headway*).

Para analizar el tiempo de espera, puede usarse el valor del intervalo de paso del sistema como una aproximación, ya que estos conceptos se encuentran altamente relacionados entre sí. Un ejemplo es cuando la regularidad se afecta, ante fenómenos de apelotonamiento de unidades u otras alteraciones operativas, el tiempo de espera percibido por el usuario puede aumentar significativamente debido a los “huecos” de demora adicional en los intervalos, aun cuando el número total de vehículos en operación permanezca constante. Adicionalmente, la condición crítica del tiempo de espera aun en operación regular se presenta con las personas usuarias que tienen que esperar el intervalo de paso completo (*headway*) por haber iniciado su espera inmediatamente posterior a la partida de un vehículo (TCQSM, 2013).

Los manuales de planificación del transporte establecen umbrales de tolerancia frente a los tiempos de espera que inciden directamente en la percepción del servicio y en la retención de usuarios (ITDP, 2007). Intervalos entre 1 y 4 min son generalmente considerados óptimos para sistemas de mediana y alta capacidad en la literatura especializada, ya que permiten que el sistema opere bajo una lógica de alta disponibilidad sin requerir la consulta constante de horarios. En contraste, cuando los tiempos de espera alcanzan o superan los 10 minutos, se cruza un umbral psicológico crítico, donde el servicio deja de percibirse como continuo (las personas pasan a pautarse por la hora de paso previsto y la puntualidad frente a la tabla horaria, en lugar de guiarse por la regularidad de paso), lo que puede desincentivar su uso. Asimismo, diversos estudios señalan que el tiempo de espera es percibido entre dos y tres veces más largo que su duración real, por lo que mantener frecuencias elevadas y regulares resulta determinante para la competitividad del transporte masivo frente a alternativas privadas (ITDP, 2007).

En este contexto, la comparación entre alternativas modales considera no solo la frecuencia nominal del servicio, sino la capacidad operativa de cada tecnología para sostener intervalos regulares y tiempos de parada eficientes bajo condiciones reales de operación urbana.

- **BRT:** Puede alcanzar intervalos muy reducidos en horas en sistemas de muy alta frecuencia el tiempo de espera promedio puede ser menor a 1 min en tramos de alta demanda. Los sistemas BRT de alta frecuencia logran tiempos de parada



cercanos a 7 segundos mediante recaudo previo al abordaje, plataformas a nivel y múltiples puertas anchas. Estas condiciones reducen significativamente las demoras asociadas al embarque.

- **LRT:** De acuerdo con el dimensionamiento preliminar se presentarían intervalos en rangos de 2 a 5 min. Sin embargo, la operación guiada implica que, si existen demoras en una estación, los trenes siguientes se ven afectados al no contar con infraestructura para adelantamientos (en configuraciones estándar), adicionalmente, ante posibles afectaciones el restablecimiento del servicio puede demorar más tiempo que en el sistema BRT.
- **Metro ligero:** De acuerdo con el dimensionamiento preliminar, se presentarían intervalos en rangos de 4 a 13 min. Aunque, los sistemas metro cuentan con segregación total y sistemas avanzados de control automático que permiten frecuencias muy altas, en escenarios de demanda media-baja los intervalos suelen ampliarse para reducir los requerimientos de flota y costos operacionales. Debido al tamaño de los vehículos, cuando se realiza ajustes en el servicio en horarios valle o por la salida de algún tren de operación por cualquier motivo, los intervalos suelen ampliarse de manera significativa, afectando el tiempo de espera de las personas.

La Tabla 18 presenta la evaluación del tiempo de espera de referencia esperado para cada alternativa en cada corredor, en función de las premisas y parámetros base establecidos en los apartados 3 y 4.

Tabla 18. Evaluación de tiempo de espera

Análisis de tiempo de espera	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Intervalo de paso (min)	2.6	4.5	1.7
Evaluación	Optimo: percepción de alta disponibilidad	Optimo: percepción de alta disponibilidad	Optimo: percepción de alta disponibilidad
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Intervalo de paso (min)	3.4	5.9	2.2
Evaluación	Optimo: percepción de alta disponibilidad	Aceptable: tolerable por usuarios	Optimo: percepción de alta disponibilidad



Análisis de tiempo de espera	Corredor 8 de		
	Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Metro Ligero - Tren 3 vagones 55m			
Intervalo de paso (min)	7.1	12.2	4.5
Evaluación	Aceptable. Tolerable por usuarios	Inadecuado. Servicio deja de percibirse como continuo	Aceptable. Tolerable por usuarios

5.2.4. Velocidad operacional

Este criterio mide la **velocidad media del recorrido**, la cual incluye no solo el tiempo del vehículo en movimiento, sino también las demoras por aceleración, frenado, el tiempo de espera en las estaciones para el abordaje y descenso de pasajeros, y las demoras en las intersecciones o las fases semafóricas. De forma resumida, puede decirse que la velocidad final de los modos BRT y LRT dependerá más de definición de la infraestructura que de las características tecnológicas de cada modo, como por ejemplo de la segregación vial, distancia entre paradas y prioridad semafórica, entre otros.

Los principales factores determinantes de esta velocidad son la distancia entre estaciones, la segregación del tráfico, la eficiencia en el abordaje (pago externo, plataformas a nivel), la densidad de intersecciones semaforizadas y la prioridad semafórica.

- **BRT:** Como se explicó en el Capítulo 3, el rango de velocidades operacionales de un BRT puede ser muy amplio, en función de sus características físicas. La combinación de carriles segregados, prioridad semafórica y diseño eficiente de estaciones permite mantener velocidades competitivas.
- **LRT:** La velocidad operacional del sistema demuestra mucha variación en función de las intersecciones y fases semafóricas que impactan en la velocidad que el sistema puede alcanzar, a pesar de contar con derecho de vía exclusivo.
- **Metro:** La segregación total elimina prácticamente todas las interferencias externas, lo que permite mantener velocidades constantes, en consecuencia, la principal afectación a la velocidad comercial se presenta en función de la distancia entre estaciones. En contraste, los accesos verticales y los tiempos de transferencia suelen impactar el tiempo de trayecto de las personas usuarias.

Las Tabla 19, Tabla 20 y la Tabla 21 presentan los factores clave y los rangos de velocidad comercial esperados para distintas configuraciones de cada alternativa y cada corredor,



estimados como rangos de referencia a partir de las características discutidas anteriormente en los apartados 3 y 4. La Tabla 22 presenta la evaluación de la velocidad comercial esperada en cada situación.

Tabla 19. Análisis de factores clave para la velocidad comercial

Aspecto Evaluado	BRT	LRT	Metro ligero
Velocidad operacional promedio	12– 35 km/h	12– 35 km/h	20 a 40 km/h
Interferencias de tráfico	Baja a Altas. Segregado, pero interactúa con flujos viales y peatonales en cruces semaforizados.	Baja a Altas. Condiciones semejantes al BRT	Nulas. Totalmente segregado a desnivel.
Capacidad de rebase (Sobrepaso)	Sin rebase, para el sistema propuesto.	Sin rebase, limitado a “vía sencilla”; los trenes operan en fila y deben parar si el tren de adelante se detiene.	Sin rebase, generalmente limitado a “vía sencilla”, salvo sistemas excepcionales con cuatro vías.
Tipos de Servicio	Servicios convencionales (parando en todas las estaciones). Con combinaciones de rutas al interior del corredor.	Servicios convencionales	Servicios convencionales

Tabla 20. Rangos de velocidades comerciales típicas de cada sistema ajustado por tipo de tramo en función de intersecciones y estaciones

Modo de transporte	Intersecciones zonas centrales (CBD) + estaciones < 500m	Intersecciones zona urbana + estaciones 500m	Intersecciones zona suburbana + estaciones < 800m	Totalmente segregado sin intersecciones
BRT	12–18 km/h	18 – 25 km/h	20–30 km/h	25 – 35 km/h
LRT	12–18 km/h	18 – 25 km/h	20–30 km/h	25 – 35 km/h
Metro Ligero	–	–	–	20 – 40 km/h

Fuente: Spriggett, 2025; ITDP, 2017.



Tabla 21. Rangos de velocidades comerciales actuales en cada corredor, según sus características

Parámetro	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Velocidad actual del transporte público (ómnibus)	15-18km/h	15-18km/h	<15 km/h
Condiciones predominantes en solución a nivel	Intersecciones zona urbana + estaciones 500m	Intersecciones zona urbana + estaciones 500m	Intersecciones zonas centrales (CBD) ⁶ + estaciones < 500m

Tabla 22. Evaluación de velocidad comercial esperada en cada corredor

Corredor 8 de Velocidad comercial esperada				octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m						
Solución a nivel		18 – 20 km/h Mejoras por carril exclusivo		18 – 25 km/h Mejoras por carril exclusivo		12-18 km/h Semejante a situación actual por elevado número de intersecciones
Solución segregada a desnivel		25 – 32 km/h Óptimo. Sin demoras por intersecciones, alta confiabilidad				
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m						
Solución a nivel		18 – 20 km/h Mejoras por derecho de vía exclusivo		18 – 25 km/h Mejoras por derecho de vía exclusivo		12-18 km/h Semejante a situación actual por elevado número de intersecciones
Solución segregada a desnivel		25 – 32 km/h Óptimo. Sin demoras por intersecciones, alta confiabilidad				
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m						
Solución segregada a desnivel		25 – 40 km/h Óptimo. Sin demoras por interferencias, alta confiabilidad				

⁶ Commercial Business District



5.2.5. Complejidad operacional

Evalúa el **nivel de coordinación tecnológica, logística e institucional requerido para gestionar la operación cotidiana** de un sistema de transporte masivo. Considera la exigencia asociada a la programación de servicios, el control de flota, la interacción con el entorno urbano y la articulación entre los distintos actores involucrados en la operación.

A diferencia de indicadores vinculados a infraestructura o inversión, este análisis se enfoca en la gestión dinámica del sistema, que comprende el conjunto de procesos necesarios para sostener un servicio regular, seguro y confiable en tiempo real.

La complejidad operacional está determinada principalmente por tres dimensiones: i) el diseño de rutas y servicios; ii) el control de flota y su interacción con el entorno urbano; y iii) la estructura institucional que organiza a los actores operativos y contractuales del sistema.

Existe una relación inversa entre flexibilidad física y simplicidad operativa. Los sistemas guiados, a pesar de su complejidad en ingeniería, tienden a ofrecer entornos operativos más estructurados y predecibles y simples de operar, mientras sistemas de buses presentan mayores desafíos de coordinación diaria, aunque su principio de diseño es emular la operación de sistemas tipo metro y mantener la complejidad operacional baja en favor del desempeño y los pasajeros.

- **BRT:** Complejidad media - alta. Las condiciones de transporte del AMM permitirían la implementación de este sistema mediante un esquema de operador único, llevando al mínimo las relaciones entre actores. A nivel operacional, la coexistencia de rutas con diferentes orígenes y destinos al interior del corredor, agrega complejidad a la gestión de sistema. Su operación en superficie implica monitoreo constante para evitar aglomeraciones y coordinar las frecuencias.
- **LRT:** Complejidad de gestión intermedia. Su operación tiende a basarse en esquemas de ruta única, que facilitan la programación y operación de los servicios. Aunque se regula mediante señalización ferroviaria, su operación en superficie puede ser afectada por condiciones externas. En general, su operación está concentrada en un operador único.
- **Metro:** Complejidad operativa baja. Estos sistemas son estructurados de forma muy rígida desde las etapas contractuales y con sistemas altamente automatizados. Opera predominantemente bajo esquemas de ruta única que facilitan la programación y operación. Los sistemas automáticos de control de



trenes permiten la regulación de intervalos. La gestión del sistema suele estar centralizada en una autoridad única, con capacidades especializadas.

La Tabla 23 presenta el análisis de los factores clave para la complejidad operacional para cada alternativa modal. La Tabla 24 analiza las condiciones de cada corredor para atender a la necesidad de servicios intermedios y la complejidad operacional en cierres de circuito, que representan elementos clave para este criterio de valuación. La Tabla 25 presenta la evaluación de la complejidad operacional en cada situación.

Tabla 23. Análisis de factores clave para la complejidad operacional para cada alternativa modal

Aspecto Evaluado	BRT	LRT	Metro ligero
Manejo de rutas y servicios	Simple – Medio. En función del esquema de operación de rutas al interior del corredor.	Simple – medio: En función del esquema de operación de rutas al interior del corredor.	Simple. Líneas troncales directas de servicio local y predecible.
Control de flota	Control activo del centro de control. Altamente dependiente de Centros de Control para regular la separación manual de buses y gestionar ingresos/salidas de carril y el control continuo de los conductores	Supervisado y semiautomatizado. Regulado por sistemas de señalización ferroviaria por bloques. Operación estandarizada y fija conforme al diseño de vía, con un elevado requerimiento de capacitación.	Automatizado. Sistemas de pilotaje automático que operan con mínima intervención humana. Operación estandarizada y fija conforme al diseño de vía, con un elevado requerimiento de capacitación.



Aspecto Evaluado	BRT	LRT	Metro ligero
Interacción con Intersecciones	Media complejidad. Requiere gestionar prohibiciones de giros, fases semafóricas complejas y priorización.	Alta complejidad. Depende totalmente de la priorización semafórica absoluta para mantener la velocidad. Las distancias de frenado aceleración complejizan los tiempos y distancias de diseño de las intersecciones y paradas	Nula complejidad. Totalmente inmune, sin cruces vehiculares a nivel.
Coordinación Institucional	Estructurada, moderada a simple. Generalmente existe una división de roles entre un ente público con funciones de supervisión y control de operación. Considerando un operador único, la relación público-privada suele ser sencilla.	Estructurada, moderada a simple. Igual que en el BRT, suele existir participación pública para la supervisión de operación, con operador único en la mayoría de los casos.	Estructurada, simple. Manejado estructuralmente por una sola empresa ferroviaria unificada.

Tabla 24. Análisis de los factores clave relacionados a la complejidad operacional de cada corredor

Característica del corredor	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Necesidad de servicios intermedios por cambios de volumen de demanda	Deseable , esquema troncal acumula pasajeros y presenta altos volúmenes de intercambio cercano a zonas centrales.	Deseable , esquema troncal acumula pasajeros y presenta altos volúmenes de intercambio cercano a zonas centrales.	Muy deseable , principal tramo con retornos operacionales necesarios para optimizar servicios que confluyen de ambos corredores.



Característica del corredor	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Complejidad operacional en cierres de circuito	Intercambiador Belloni & Punta de Rieles – Poca disponibilidad de espacio para diseño de puntos de regulación y cierre de circuito. Terminal Zonamerica – amplitud de espacios y baja densidad vehicular.	Av. Bolivia – Ciudad de la Costa y terminal Guenoas – amplitud de espacios y baja densidad vehicular.	Cierres de circuito supeditados a soluciones geométricas de los nodos Tres Cruces y Plaza Independencia.

Tabla 25. Evaluación de la complejidad operacional

Complejidad operacional	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT	Biarticulado 25m		
Operación con diferentes rutas al interior de cada corredor, en solución a nivel o a desnivel	Media. Baja diversidad de rutas con frecuencia de paso intermedia + Control de flota activa y continua desde el centro de control	Alta. Elevado volumen de frecuencias y diversidad de rutas + Coordinación de nodo Tres Cruces + Control de flota y operadores.	
Tranvía – Tren Ligero	Tram 5 módulos 33 m		
Operación con única ruta en cada corredor, en solución a nivel o a desnivel	Media. Baja diversidad de rutas con frecuencia de paso intermedia + Control de flota activa y continua desde el centro de control + Control de flota semiautomático SIN intersecciones ni interferencias externas	Alta: Diversidad de rutas con frecuencia de paso intermedia + Coordinación de nodo Tres Cruces + Control de flota SIN intersecciones ni interferencias externas	
Metro – Ligero	Tren 3 vagones 55m		
Operación con única ruta en cada corredor en solución a desnivel (soterrada)	Baja: Ruta única con baja frecuencia de paso + Control automático de flota	Media – baja: Requiere coordinación del nodo Tres Cruces, generalmente operado automáticamente, aunque requiere supervisión de horarios para correcto intercalamiento de trenes frente a posibles atrasos de servicio.	



5.3. Impacto y adaptación al sistema de transporte existente

Este componente considera el grado de disrupción, sinergia y capacidad de integración que implica la incorporación de un nuevo sistema de transporte masivo dentro de la red y del ecosistema de movilidad ya existente, generalmente estructurado en torno a servicios de ómnibus. Dado que un nuevo sistema no opera de manera aislada, su desempeño depende en gran medida de cómo se articula con las rutas actuales, cómo transforma los patrones de viaje de las personas usuarias y cómo se relaciona con los actores empresariales e institucionales preexistentes

5.3.1. Cambios en patrones de transbordo

Este indicador analiza la **modificación en la cadena de viaje del usuario, específicamente la necesidad de realizar transferencias físicas** (cambio de vehículo) para completar un desplazamiento que anteriormente podía ser directo.

Los estudios demuestran que los usuarios perciben que el tiempo asociado a caminar y esperar durante un transbordo puede percibirse entre 1,5 y 3 veces más oneroso que el tiempo a bordo del vehículo. Por lo tanto, un sistema que minimiza la cantidad y la dificultad física de los transbordos resulta mucho más atractivo.

El análisis distingue entre modelos operativos abiertos, que permiten servicios directos sin necesidad de transferencias obligatorias, y modelos cerrados, donde la estructura troncal–alimentadora concentra la demanda en estaciones específicas y requiere transbordos planificados.

- **Metro y LRT:** Suelen requerir un esquema de servicios alimentadores y troncales rígidos. En sistemas a desnivel, es necesario considerar las transferencias verticales mediante escaleras, rampas o ascensores, lo que incrementa el tiempo de caminata y el esfuerzo físico necesario.
- **BRT:** Se contempla como un sistema troncoalimentado de características semejante al esquema de rutas de los Metros y LRTs. Sin embargo, a futuro, o en ciertas condiciones especiales tiene la posibilidad de adaptar su esquema operativo para operar como un sistema abierto, donde un mismo ómnibus recoge a los pasajeros en las áreas residenciales periféricas y luego ingresa al corredor troncal de BRT, llevando al pasajero hasta su destino final sin que tenga que bajarse del vehículo. El diseño a nivel de superficie facilita transferencias en plataforma dentro de las plataformas, reduciendo la “penalización” del transbordo.



La Tabla 26 resume el análisis de factores clave para potenciales cambios en patrones de transbordo, y la Tabla 27 presenta la evaluación para cada corredor.

Tabla 26. Análisis de factores clave para potenciales cambios en patrones de transbordo

Criterio	Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
¿El corredor afecta la cadena de viaje de las personas?	El corredor corresponde a un vector natural de viajes del AMM. Hay gran concentración de líneas a lo largo del corredor.	El corredor corresponde a un vector natural de viajes del AMM. Hay gran concentración de líneas a lo largo del corredor.	Concentra el principal destino de viajes de la Zona Metropolitana. El corredor se conecta con la zona de Ciudad Vieja, que depende de la articulación de rutas por la malla vial de la zona.
Que tanto penaliza el viaje por características de la transferencia	El principal destino de las rutas es en zona central del AMM. Prevalece 1 único transbordo con el esquema de troncoalimentación.	El principal destino de las rutas es en zona central del AMM. Prevalece 1 único transbordo con el esquema de troncoalimentación	El corredor consolida zonas de atracción de viajes y requiere continuidad de las rutas hacia los corredores troncales (8 de octubre y Av. Italia) y el resto de los corredores de transporte público convencional, para no penalizar viajes en puntos cercanos al destino.



Tabla 27. Evaluación de los cambios en patrones de transbordo

Impactos a patrones de viaje de usuarios			
	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Evaluación	Intermedio. Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Bajos inconvenientes de transferencia por menores distancias de caminata y corta espera por intervalo de paso reducido.	Intermedio. Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Bajos inconvenientes de transferencia por menores distancias de caminata y corta espera por intervalo de paso reducido.	Bajo. Permite conectividad con ambos corredores (8 de Oct y Av. Italia) y con Ciudad Vieja por compatibilidad de los ómnibus para continuar su recorrido por vialidad en tránsito mixto, con proximidad a los generadores de viaje y con corta espera por intervalo de paso reducido.
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Evaluación	Intermedio. Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Bajos inconvenientes de transferencia por menores distancias de caminata y corta espera por intervalo de paso reducido.	Intermedio – alto. Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Con inconvenientes de transferencia por menores distancias de caminata y mayores tiempos de espera.	Intermedio. Sin posibilidad de vincular con Polo Ciudad Vieja, incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Bajos inconvenientes de transferencia por menores distancias de caminata y corta espera por intervalo de paso reducido.
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Evaluación	Alto. Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Con inconvenientes de transferencia por mayores distancias de caminata (debido a características de infraestructura y accesos) y mayores tiempos de espera.	Muy alto. Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Con inconvenientes de transferencia por mayores distancias de caminata (debido a características de infraestructura y accesos) y tiempos de espera superiores a 10 minutos.	Intermedio. Sin posibilidad de vincular con Polo Ciudad Vieja, Incorpora 1 transbordo a algunos viajes. Bajos inconvenientes de transferencia por menores distancias de caminata y corta espera por intervalo de paso aceptable.



5.3.2. Reestructuración de líneas

Este indicador evalúa la **magnitud y el tipo de ajustes que requiere la red de transporte existente ante la implementación de una nueva tecnología de transporte masivo**. Considera el grado de interrupción en los servicios actuales, la capacidad de integración o reconversión de rutas preexistentes y las implicaciones operativas e institucionales derivadas de la reorganización del sistema. Dado que un nuevo corredor no opera de forma aislada, sino que es parte de una red más amplia de transporte público, su desempeño depende en gran medida de cómo se articula con la estructura de servicios vigente y de la capacidad de adaptación de los actores involucrados.

- **Metro y LRT:** La reestructuración es necesaria de manera inmediata. Esto requiere la reorganización de las rutas de ómnibus para operar como servicios alimentadores que concentren la demanda en las estaciones de metro o LRT y favorezcan transbordos planificados. Si no se genera esta reestructuración, los ómnibus convencionales terminan operando de forma paralela al tren, generando competencia por los pasajeros y reduciendo los beneficios operativos asociados a la nueva infraestructura segregada.
- **BRT:** Este sistema permite una implementación y expansión más gradual, con menor interrupción inicial sobre las rutas existentes, debido al uso de ómnibus compatibles con la red vial actual. Esta característica facilita esquemas operativos híbridos, donde ciertos servicios pueden aprovechar los carriles segregados mientras mantienen recorridos fuera del corredor, como estrategia de implementación. No obstante, para alcanzar los beneficios plenos en términos de eficiencia operativa y desempeño vial, los planes de servicio suelen requerir la reorganización o eliminación de rutas redundantes que compiten directamente con la troncal.

La Tabla 28 muestra el número de líneas que operan en cada corredor y analiza la necesidad de reestructuración de líneas existentes. La Tabla 29 muestra la evaluación de este criterio para cada corredor.



Tabla 28. Análisis de la necesidad de reestructuración de líneas existentes

Característica de la red de rutas	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
Total de líneas	59	52	27
Líneas urbanas	30	14	27
Líneas suburbanas	29	41	0
Reestructuración en esquema de tronco-alimentación	Incluye rutas con origen y destino dentro del corredor, 1 y 2 tramos fuera del corredor. Cuenta con uno de los pocos puntos de integración modal del AMM (intercambiador Belloni), que permitiría la reestructuración de parte de las rutas. El ajuste del trazo de rutas requiere vialidades en paralelo por el escaso espacio en diversos puntos del corredor. Sin embargo, también se presentan pocas alternativas viales.	Incluye rutas con origen y destino dentro del corredor, 1 y 2 tramos fuera del corredor. Cuenta con condiciones viales y espacios en el entorno para diseñar espacios de integración modal y reestructuración de rutas.	Requiere ajuste de trazo de rutas que no se incorporen al corredor, para circulación en paralelo, pues, no es recomendable incorporar a tronco alimentación por la corta longitud del corredor (3-4 km). Limitado espacio en vialidad con vialidades en paralelo.

Tabla 29 . Evaluación de la necesidad de reestructuración de líneas existentes.

Complejidad del proceso de reestructuración de rutas	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Opción a nivel	Intermedia – Las rutas que no se integren al corredor deberán ser reestructuradas en vialidades paralelas. Se cuenta con algunos puntos para diseño de integración troncal – alimentación.	Baja – Características de la vialidad a lo largo del corredor, periten identificar puntos para ajustes de trazado e integración modal troncal – alimentadoras	Alta – Las rutas que no se integren al corredor deberán ser reestructuradas en vialidades paralelas. Con posibilidad de vincular con Polo "Ciudad Vieja" por compatibilidad tecnológica.
Opción a desnivel	Baja – Restitución de vialidad permitiría cierre de circuito y ajustes de trazos a nivel.	Baja – Restitución de vialidad permitiría ajustes de rutas a nivel.	Baja – Restitución de vialidad permitiría ajustes de rutas a nivel.
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Opción a nivel	Intermedia – Las rutas que no se integren al corredor deberán ser reestructuradas en vialidades paralelas. Se cuenta con algunos puntos para diseño de	Baja – Características de la vialidad a lo largo del corredor, periten identificar puntos para ajustes de trazado e integración	Muy Alta – Las rutas que no se integren al corredor deberán ser reestructuradas en vialidades paralelas.



Complejidad del proceso de reestructuración de rutas	Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
	integración troncal - alimentación.	modal troncal - alimentadoras	Conectividad con Ciudad Vieja dependería de rutas remanentes o extensión de infraestructura con impactos significativos en costos.
Opción a desnivel	Baja - Restitución de vialidad permitiría cierre de circuito y ajustes de trazos a nivel.	Baja - Restitución de vialidad permitiría ajustes de rutas a nivel.	Baja - Restitución de vialidad permitiría ajustes de rutas a nivel.
Metro Ligero - Tren 3 vagones 55m			
Opción a desnivel	Baja - Restitución de vialidad permitiría cierre de circuito y ajustes de trazos a nivel.	Baja - Restitución de vialidad permitiría ajustes de rutas a nivel.	Baja - Restitución de vialidad permitiría ajustes de rutas a nivel.

5.3.3. Participación de operadores existentes

Este criterio valúa las **implicaciones socioeconómicas, institucionales y políticas que la implementación de un nuevo sistema** de transporte masivo genera sobre los operadores tradicionales que ya participan en la red (operadores, conductores y personal asociado). Analiza el grado en que la nueva tecnología desplaza actividades existentes o, por el contrario, crea mecanismos de integración, formalización y transición empresarial. Dado que la introducción de infraestructura troncal altera estructuras económicas preexistentes, este componente también considera el potencial de conflictividad social y la capacidad del modelo para gestionar procesos de reconversión laboral.

- **Metro y LRT:** La incorporación de sistemas férreos suele implicar una reconfiguración profunda del sector, con baja participación directa de operadores tradicionales debido a los altos requerimientos técnicos y financieros. La operación tiende a concentrarse en entidades estatales o corporativas especializadas, lo que puede reducir la participación laboral directa y generar procesos de desplazamiento económico si no se diseñan mecanismos de compensación o transición.
- **BRT:** Los sistemas BRT ofrecen mayores posibilidades de integración progresiva de operadores existentes, al basarse en tecnologías y modelos operativos



compatibles con el transporte sobre neumáticos. Diversas experiencias internacionales muestran que pueden funcionar como instrumentos de formalización empresarial y mejora de condiciones laborales, mediante la reorganización de concesionarios en estructuras corporativas y la creación de nuevos roles asociados a la operación del sistema.

La Tabla 30 muestra el análisis del impacto de la implementación de cada tipo de sistema sobre la participación de los operadores existentes de servicios de ómnibus, y la evaluación de la potencial participación de esos actores sociales en el nuevo sistema. Cabe destacar que, en ese sentido, se asume en este análisis como un cambio positivo y socialmente deseable la perspectiva de incorporación (parcial o total) de la fuerza laboral que ya se dedica al sector, no sin pasar, por supuesto, por procesos de capacitación y actualización profesional.



Tabla 30. Evaluación de la participación de los operadores existentes.

Participación de los operadores existentes		Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25 m				
Reconversión de operadores al proyecto	Alta viabilidad de integración de operadores actuales, debido a la similitud tecnológica y operativa. Los actores existentes pueden participar mediante esquemas de reconversión empresarial o adaptación de flota.			
Valoración	Alto potencial de participación – Esta reconversión puede apoyar la transición institucional mediante formalización y reorganización empresarial, reduciendo fricciones en la reestructuración de rutas.			
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m				
Reconversión de operadores al proyecto	La incorporación directa de operadores actuales es limitada debido a los requerimientos técnicos y de especialización propios de los sistemas ferroviarios. La participación suele canalizarse mediante nuevas estructuras operativas o concesiones especializadas.			
Valoración	Bajo potencial de participación – Baja probabilidad de incorporación de operadores se conjuga con un elevado requerimiento de seccionamiento de rutas y desincorporación de vehículos del sistema, para garantizar el esquema de tronco-alimentación que requiere el proyecto para evitar la pelea por el pasajero y garantizar la captación de demanda.			
Metro / Ligero – Tren 3 vagones 55 m				
Reconversión de operadores al proyecto	La incorporación directa de operadores actuales es limitada debido a los requerimientos técnicos y de especialización propios de los sistemas ferroviarios. La participación suele canalizarse mediante nuevas estructuras operativas o concesiones especializadas.			
Valoración	Bajo potencial de participación – Baja probabilidad de incorporación de operadores se conjuga con un elevado requerimiento de seccionamiento de rutas y desincorporación de vehículos del sistema, para garantizar el esquema de tronco-alimentación que requiere el proyecto para evitar la pelea por el pasajero y garantizar la captación de demanda.			



5.3.4. Flexibilidad y resiliencia operativa

Este indicador evalúa la **capacidad de un sistema de transporte masivo para adaptarse a escenarios cambiantes**, tanto en el corto plazo (capacidad de respuesta ante incidentes, averías o alteraciones operativas), como en el largo plazo (cambios en la demanda o expansión de la red).

La resiliencia operativa se relaciona con la continuidad del servicio frente a contingencias, mientras que la flexibilidad refleja el grado en que un sistema permite ajustes en rutas, frecuencias o patrones de operación sin requerir modificaciones estructurales complejas. Estas capacidades están fuertemente condicionadas por el tipo de infraestructura y el grado del confinamiento del modo.

- **BRT:** Flexibilidad y resiliencia intermedia. La operación sobre neumáticos permite desviar vehículos ante bloqueos o averías, utilizar carriles alternos y adaptar la oferta inhibiendo estaciones o paradas provisionalmente.

El sistema permite una amplia cantidad de permutaciones, creación de rutas nuevas, servicios provisionales o ramales sin necesidad de nueva infraestructura pesada, simplemente modificando la programación de la flota.

A largo plazo, el sistema permite una expansión y operación por fases, permitiendo que los ómnibus operen en el tráfico mixto en tramos específicos, en tanto que se habilitan los tramos segregados.
- **LRT:** Baja flexibilidad y alta vulnerabilidad en superficie. Muestra una resiliencia limitada debido a que la operación guiada sobre rieles del sistema frente a incidentes es reducida. Si un tren presenta una avería o existe un bloqueo parcial de la vía, o algún incidente vial, toda la línea queda paralizada hasta el retiro del obstáculo.

La modificación de rutas o servicios es sumamente complicada, ya que requiere la instalación física de nuevos rieles y sistemas de señalización, entre otros.
- **Metro:** Baja flexibilidad y operación rígida, con baja exposición a condiciones diseño redundante. El sistema carece de flexibilidad operativa y alternativa ante fallas graves, ya que, ante un problema mecánico o una obstrucción de vía, el servicio se ve detenido. Sin embargo, su carácter segregado reduce su exposición a condiciones externas que pueden generar interrupciones. Sin embargo, en estos diseños incorporan metodología de diseño redundante con estándares de servicio muy elevados bajo la metodología “RAMS” (*Reliability, Availability, Maintenance and Safety*). Es el sistema más rígido. Una vez que se excava un túnel o se



construye un viaducto, el trazado de la ruta es “permanente”. Cualquier expansión o modificación del patrón de servicio requiere una planificación e inversión de alto impacto.

La Tabla 31 presenta el análisis de la flexibilidad y resiliencia operativa para cada modo de transporte, y la Tabla 32 la evaluación de esos criterios para cada corredor.

Tabla 31. Análisis de la flexibilidad y resiliencia operativa

Criterio	BRT	LRT	Metro Ligero
Resiliencia operativa	Media – Los BRT en superficie están expuestos a elevadas tasas de interferencias. Puede implementar desvíos temporales utilizando carriles mixtos o vías alternativas. En caso de incidente puntual, es posible operar servicios parciales, cortos o expresos. La afectación suele ser localizada. En casos de vías 100% segregadas, los ómnibus tienen opción y continuar el recorrido por vías alternativas.	Baja. La infraestructura es guiada y físicamente confinada, por lo que ante una obstrucción en vía la continuidad depende de la existencia de vías de sobrepaso o tramos dobles, con elevados costos diferenciales de implementación.	Alta – Los sistemas tipo metro, son diseñados bajo estándares de confiabilidad normados, que buscan garantizar una elevada confiabilidad del servicio (superior al 99.9%). En la práctica se evidencia una muy alta confiabilidad y disponibilidad de estos servicios, con baja incidencia de riesgos o fallas. Requiere protocolos robustos y redundancias técnicas que generan en parte los elevados costos y tiempos de implementación.
Flexibilidad operativa	Alta. Permite variaciones de rutas (ramales, servicios directos, interlíneas), incorporación progresiva de flota, ajustes de frecuencias por demanda y operación fuera del corredor en red capilar. Puede integrarse fácilmente a servicios alimentadores o extenderse sin infraestructura compleja.	Baja - media. Estos sistemas consideran la operación de servicios parciales, pero está restringido al trazado ferroviario definido en etapa de planeación. Las extensiones vías, alternativas y conexiones, requieren inversión en vía y electrificación. Menor capacidad de adaptación inmediata frente a cambios de demanda.	Baja - media. Estos sistemas consideran la operación de servicios parciales, pero está restringido al trazado ferroviario definido en etapa de planeación. Las extensiones vías, alternativas y conexiones, requieren inversión en vía y electrificación. Menor capacidad de adaptación inmediata frente a cambios de demanda.



Tabla 32. valuación de la flexibilidad y resiliencia operativa

Capacidad de las alternativas de lograr la continuidad del servicio	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
A nivel	Media –alta: Sistema vulnerable ante incidencias e interferencias externas, con posibilidad de modificar trazado por tránsito mixto usando vialidades alternas.	Media – Alta incidencia de manifestaciones y alta vulnerabilidad ante interferencias con posibilidad limitada de modificar trazado por tránsito mixto usando vialidades alternas.	
A desnivel (soterrado – elevado)	Alta – Eliminando los factores externos, los sistemas de ómnibus totalmente segregados presentan una alta confiabilidad, con algunas fallas inherente a la tecnología vehicular e incidencia operacionales.		
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
A nivel	Media – Sistema vulnerable ante incidencias e interferencias externas, con rigidez intrínseca del sistema	Baja: Alta incidencia de manifestaciones y alta vulnerabilidad ante interferencias con rigidez intrínseca del sistema	
A desnivel (soterrado – elevado)	Muy alta – En la práctica estos sistemas presentan una muy baja tasa de incidencias que afecten al servicio.		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Solución segregada (a nivel o a desnivel)	Muy alta – En la práctica estos sistemas presentan una muy baja tasa de incidencias que afecten al servicio.		



5.4. Aspectos económicos preliminares

El objetivo de esta sección es establecer órdenes de magnitud y rangos comparables de variables económicas y técnicas asociadas a las alternativas analizadas (BRT, LRT y Metro). En este primer informe se presenta el CAPEX por kilómetro como un indicador relevante para aproximar los aspectos económico-financieros asociados a la implementación de las alternativas modales evaluadas. Este indicador permite realizar una comparación preliminar, a nivel de perfil, del orden de magnitud de los principales componentes económicos asociados a la implementación de cada una de las alternativas de transporte definidas previamente.

En la siguiente etapa del estudio se incorporará el análisis de otros componentes relevantes, tales como los costos de operación y mantenimiento (OPEX), la vida útil de los activos y los costos de rehabilitación y reemplazo de componentes (REPEX), con el fin de contar con una evaluación económica más completa de las alternativas consideradas.

La metodología de este informe se basa en un ejercicio de *benchmarking* que combina proyectos comparables relevados a nivel internacional, y estudios técnicos de referencia. Con el fin de asegurar la comparabilidad entre alternativas, todos los valores se homogeneizan a una misma moneda y se actualizan a un año base común. Los resultados se presentan en términos de órdenes de magnitud y rangos de variación, identificando los principales *drivers* de costo de cada modo y los factores que explican las diferencias observadas.

No obstante, debe considerarse que la disponibilidad de información no es uniforme por modo y región, y que la composición del CAPEX (obra civil, estaciones, sistemas, material rodante, servicios profesionales, derecho de vía) puede variar entre fuentes. En consecuencia, los rangos estimados deben leerse como referencias indicativas y serán refinados en la siguiente etapa de este estudio, mediante una estimación de costos con mayor desagregación, consistente con las especificaciones técnicas preliminares de cada alternativa.

En este primer entregable se utilizan valores paramétricos en función de las definiciones generales de cada alternativa técnica. En el segundo entregable, cuando se lleven adelante la evaluación económica-financiera, se considerarán las particularidades de cada una.



5.4.1. Costos de implementación (CAPEX)

Con el objetivo de obtener valores de referencia en materia de niveles de inversión, se realizó un relevamiento de proyectos implementados y de estudios que sistematizan experiencias comparables, con el fin de conformar una base de datos sustentada en evidencia empírica.

En una primera etapa del ejercicio de *benchmarking*, el foco se centró en el análisis de proyectos desarrollados en contextos similares al de Uruguay, particularmente en América Latina. En este relevamiento inicial se identificaron experiencias correspondientes a los tres modos analizados, con una mayor presencia relativa de casos BRT y Metro respecto al LRT. En contraste, la cantidad de proyectos LRT documentados en la región es más acotada, lo que motivó la ampliación del análisis hacia otras regiones a efectos de contar con una base comparativa más robusta.

Como resultado de este proceso, se identificaron 93 proyectos, los cuales se distribuyen de la siguiente manera⁷:

Tabla 33. Proyectos de BRT, LRT y Metro relevados en el estudio

Proyectos levantados	LATAM	Resto del Mundo	Total
BRT	19	12	31
LRT	9	35	44
Metro	9	9	18

Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

Los parámetros de CAPEX considerados en la presente versión del documento incorporan, cuando corresponde, los siguientes conceptos: derecho de vía, obras civiles, estaciones, servicios profesionales (incluyendo ingeniería independiente y asesoría financiera, entre otros), sistemas (ITS) y material rodante. Si bien se observa una heterogeneidad en la naturaleza y en la complejidad en la implementación de los proyectos, los promedios de los valores alcanzados se consideran una referencia válida para la comparación del CAPEX entre modos, así como para el posterior análisis financiero y económico de la solución de movilidad en el AMM.

Para homogenizar y comparar internacionalmente el CAPEX de los proyectos relevados, el procedimiento consistió en dos etapas utilizando datos del *World Bank* (WB): primero,

⁷ Ver Anexo 1. Proyectos relevados para el estudio económico.



todos los valores se convierten a dólares constantes de un mismo año base (2024) mediante el *GDP Deflator* (corrigiendo así las diferencias temporales). Posteriormente, los montos se ajustan por diferencias en niveles de precios entre los países y Uruguay aplicando el *PPP conversion factor (GDP)* del WB, de modo que el CAPEX se expresa en términos de paridad de poder de compra del país en cuestión.

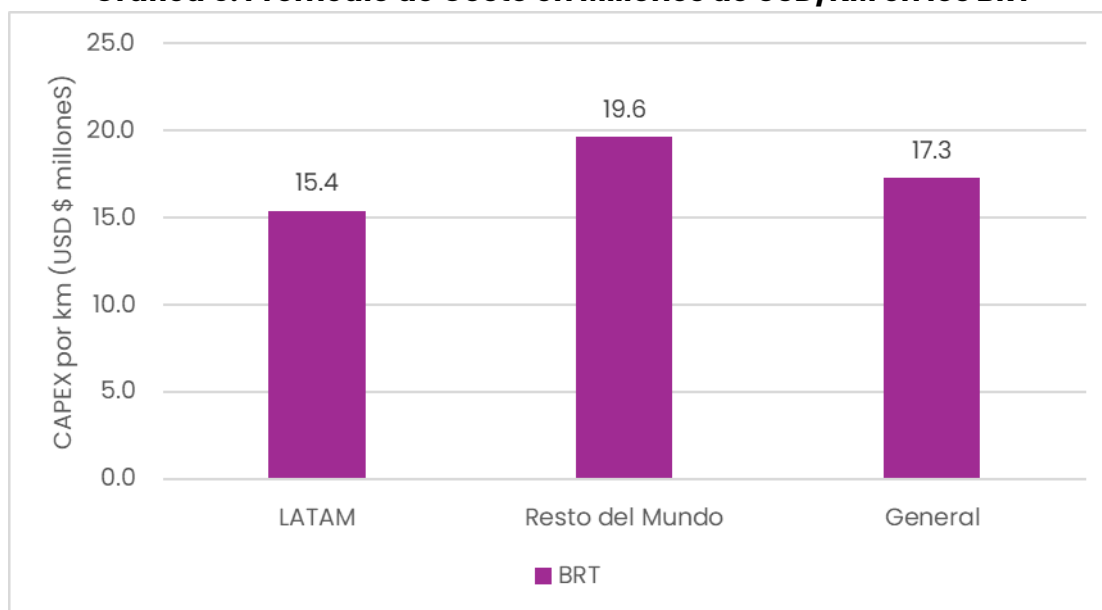
Para cada uno de los casos se relevaron datos sobre la extensión total y el CAPEX. Entre los proyectos analizados se identificaron tanto inversiones correspondientes a redes de corredores, como para líneas individuales. En consecuencia, a fin de asegurar la comparabilidad y homogeneidad de la información, se procedió a sistematizar los valores de inversión inicial en una única unidad de medida (millones de USD/km).

5.4.1.1. BRT

Para la tipología BRT se colectó información de 31 proyectos, los cuales en su conjunto constituyen una muestra de 930 km de infraestructura. Es importante destacar, que solamente el 4% de esta muestra corresponde a proyectos con infraestructura soterrada con 1 solo proyecto identificado con esta característica, mismo que no fue desarrollado en América Latina.⁵

Al analizar los promedios de inversión inicial por kilómetro, diferenciados por región y tipología de infraestructura, se observa que en América Latina el promedio de inversión por km de los sistemas BRT analizados asciende a USD 15,4 millones. A nivel global, el promedio para el conjunto de regiones se sitúa en USD 17,3 millones por km.

Gráfica 6. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en los BRT

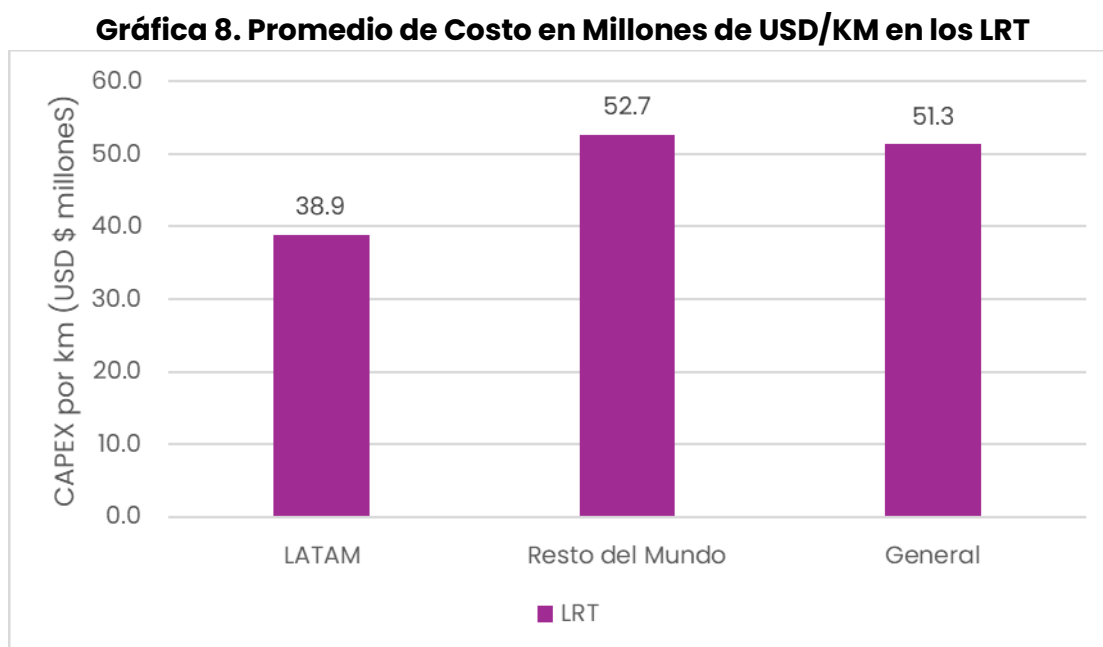


Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

5.4.1.2. LRT

Para la tipología LRT se colectó información de 44 proyectos, los cuales en su conjunto constituyen una muestra de 515 km de infraestructura, con una participación del 33% de la infraestructura soterrada. Así mismo, el 10% de la infraestructura y el 20% de los proyectos identificados se desarrollaron en Latino América, evidenciando la menor cantidad de masa crítica de experiencias en esta tecnología en la región.

7 En cuanto al CAPEX promedio por km, se observa que en el promedio de todos los proyectos LRT incluidos en la muestra el valor es de USD 51,3 millones. En América Latina el promedio total se sitúa en USD 38,9 millones. En el resto de mundo este valor es mayor (USD 52,7 millones) por la presencia de la alternativa subterránea.

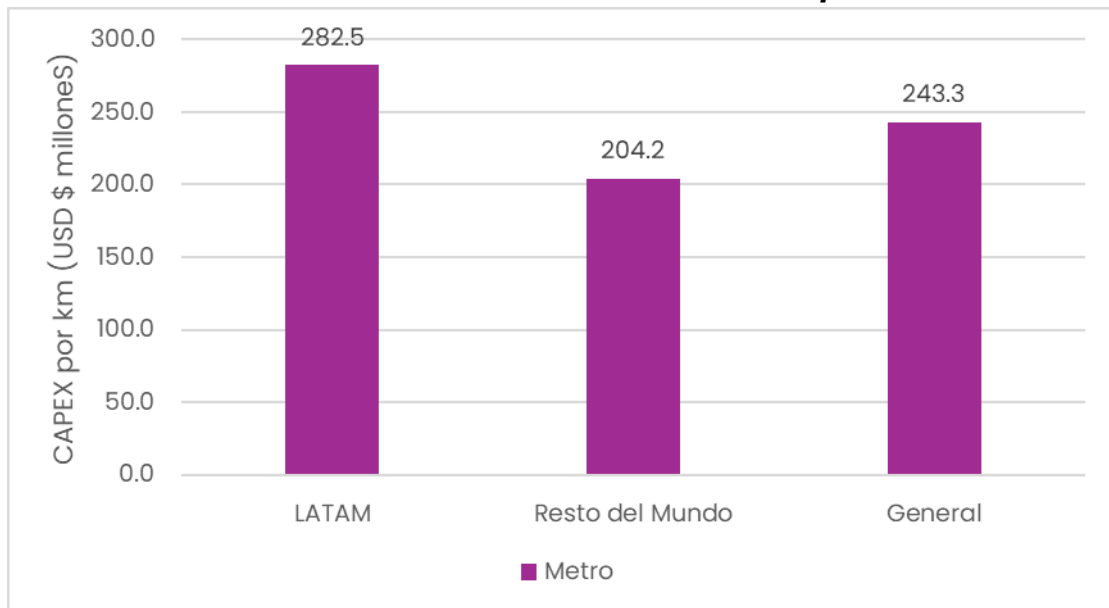


Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

5.4.1.3. Metro

Para la tipología Metro se colectó información de 18 proyectos con una longitud total de los 446 km. Ninguno de los proyectos presentó infraestructura totalmente a nivel y se evidenció la predominancia de la infraestructura soterrada. Así mismo, el 62% de la infraestructura y el 50% de los proyectos identificados se desarrollaron en Latino América.

El promedio total el CAPEX por km en los Metros analizados es de USD 243,3 millones. América Latina presenta niveles superiores con un CAPEX por km de USD 282.5 millones.

Gráfica 9. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en Metro

Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

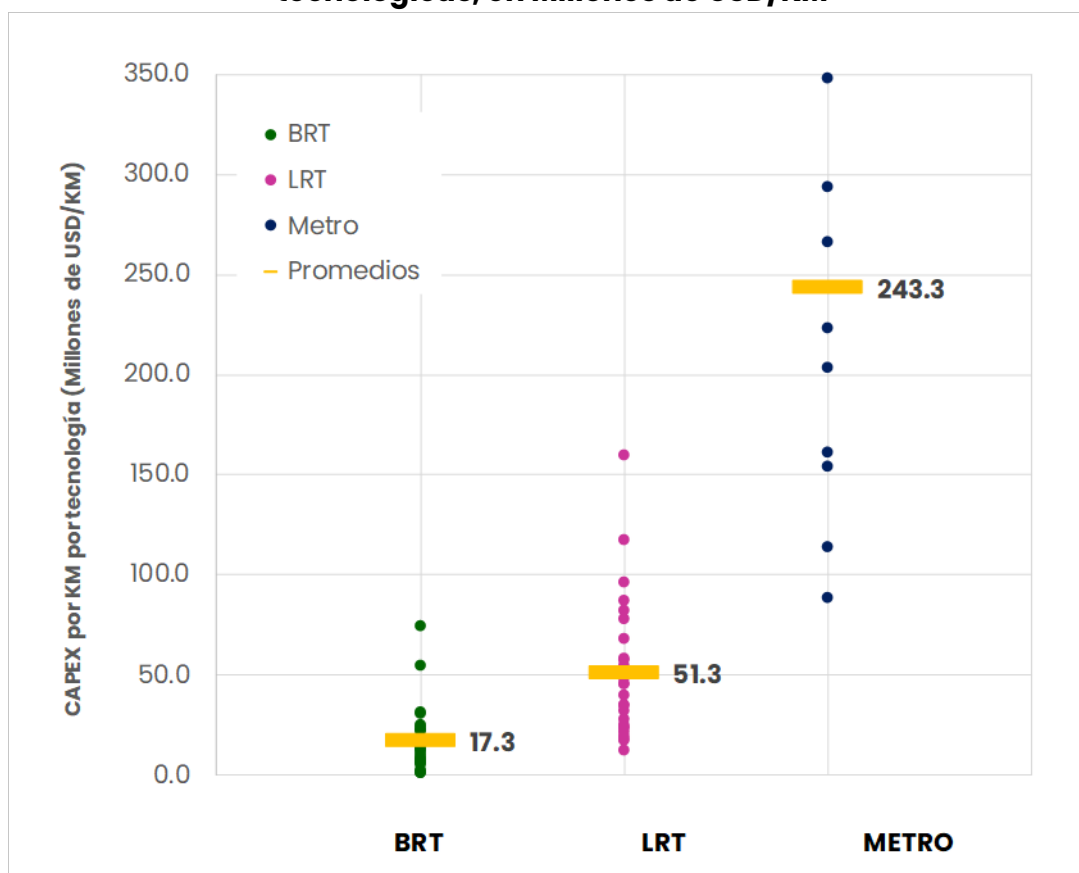
En esta modalidad de transporte se registra una mayor dispersión en los niveles de inversión, lo que se explica por la heterogeneidad de la muestra analizada, en la que coexisten proyectos de naturaleza *greenfield* y *brownfield*, con requerimientos de infraestructura, alcance de obras y niveles de intervención sustancialmente distintos.

5.4.1.4. Resumen de CAPEX por km por alternativa.

A continuación, se presenta el resumen de los costos de CAPEX por alternativa, obtenido de la muestra colectada de proyectos. Se puede observar, en primer lugar, que existen diferencias significativas de costo paramétricos entre alternativas: BRT USD \$17.3 millones X km, LRT USD \$51.3 millones X km, Metro USD \$243.3 millones X km. Adicionalmente, también puede destacarse que se presentan variaciones en los costos paramétricos de los proyectos de cada alternativa, debido a la gran cantidad de componentes variables entre los proyectos, no todos aplicables para el contexto del PTTMM, por ejemplo: carriles de sobre paso, sobre longitud de estaciones, expropiaciones, entre otras.



Gráfica 10. Dispersión de CAPEX por km de proyectos para las 3 alternativas tecnológicas, en Millones de USD/KM



Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

Nota: La muestra de proyecto contiene valores observados de CAPEX por km superiores a 350 millones USD definidos como límite de este gráfico ilustrativo.

5.4.1.5. Soterramiento de corredores e infraestructura de transporte.

El costo de las obras de soterramiento es difícil de estimar desde los datos agregados de CAPEX de los proyectos, debido a que el nivel de detalle de la información no permite identificar los tramos específicos que fueron implementados con obras civiles de este tipo. Por este motivo, se puede aproximar un costo de construcción de un túnel para un contexto específico como el AMM en función de los estudios y proyectos desarrollados en el marco del PTTMM. La información disponible apunta que las obras subterráneas (túnel completo, tres cruces y pasos a desnivel) en el tramo 18 de Julio – Tres Cruces alcanzarían un costo de USD \$ 183 millones en una extensión de 4.15 km, con un costo aproximado por km de USD \$44.3 millones por km. Este valor es consistente con los valores internacionales que estiman costos de construcción entre 30 y 100 millones de dólares por km de túnel para obras de transporte.

Resumen final

Es importante señalar que el presente análisis comparativo tiene un carácter conceptual y exploratorio, y su objetivo principal es proporcionar insumos técnicos para la discusión de alternativas modales en el marco del Programa de Transformación del Transporte Público Metropolitano del Área Metropolitana de Montevideo.

En este sentido, los resultados obtenidos no constituyen una definición final de proyecto, sino un insumo para orientar las siguientes etapas de planificación y estructuración

De esta manera, el presente análisis constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones estratégicas en etapas tempranas del proceso de planificación, contribuyendo a orientar el desarrollo de proyectos que permitan avanzar hacia la implementación de soluciones de transporte público de alta capacidad adecuadas para el contexto urbano y metropolitano de Montevideo:

Como resumen final de la comparativa de aspectos técnicos y económicos se resumen los resultados obtenidos, con la finalidad de contrastar las alternativas técnicas planteadas en la totalidad de los 3 corredores analizados como alternativas a la movilidad del AMM. A continuación, se presenta una síntesis preliminar de las conclusiones obtenidas por este estudio:

1. La implementación del sistema debe considerar una visión de red. Así mismo, el diseño del sistema debe responder al deseo de viaje y a la distribución de la demanda.

El análisis confirma que la evaluación de las alternativas modales no puede realizarse únicamente a escala de corredor, sino que debe considerar el funcionamiento integral de la red metropolitana de transporte público. El resultado de los criterios de evaluación aplicados se relaciona continuamente con el nodo de integración de ambos corredores en Tres Cruces, y con las características globales de los corredores desde sus extremos en la parte exterior hasta el Centro del AMM, sin fragmentar ni restringir el análisis tratando por separado tramos de un mismo sistema que deberían diseñarse de forma sistémica e integral.

2. La integración de los corredores en el nodo Tres Cruces y el tramo de Av. 18 de Julio concentran los factores críticos para la viabilidad de las distintas alternativas modales.



El tramo de la Av. 18 de Julio constituye el segmento más restrictivo del sistema de corredores debido a su menor disponibilidad de sección vial, elevada densidad de intersecciones, intensa actividad peatonal y carácter simbólico y funcional dentro de la estructura urbana del centro de Montevideo.

Adicionalmente, el nodo de Tres Cruces presenta condiciones de elevada complejidad vial y peatonal, así como la existencia de infraestructura subterránea actualmente utilizada por el corredor 8 de Octubre. En este contexto, cualquier alternativa tecnológica deberá resolver la continuidad del sistema en este punto mediante soluciones de infraestructura que garanticen la capacidad operativa del corredor, y que eviten discontinuidades de servicio y conflictos con los flujos vehiculares y peatonales existentes.

3. La capacidad de los sistemas evaluados es suficiente para atender la demanda proyectada; sin embargo, la gestión eficiente de la oferta (particularmente en los tramos con menor demanda) se ve favorecida por el uso de vehículos de menor capacidad y mayor flexibilidad operacional.

El sistema BRT presenta un rango operacional más versátil debido al menor tamaño relativo de los vehículos y al mayor rango de frecuencias que pueden alcanzarse. Esto permite ajustar la oferta de manera más flexible, proporcionando mayor capacidad en situaciones de demanda extraordinaria o ante futuros crecimientos, y al mismo tiempo mantener intervalos de paso adecuados en los tramos de menor demanda del corredor.

Por su parte, la operación de un sistema LRT implementado a nivel puede requerir intervalos de paso relativamente bajos para atender la demanda en los tramos de mayor carga. En contextos urbanos con alta densidad de intersecciones y presencia significativa de flujos vehiculares y peatonales, esta frecuencia de paso puede generar mayores niveles de interferencia en las intersecciones y potenciales impactos sobre la operación vial del entorno.



4. La segregación del derecho de vía constituye un elemento clave en el desempeño de los sistemas

Los niveles de segregación del derecho de vía influyen directamente en la velocidad comercial, confiabilidad y capacidad efectiva de los sistemas de transporte masivo.

En este sentido las soluciones **BRT y tranvía** permiten configuraciones a nivel con distintos grados de interacción con el tránsito mixto y pérdida del desempeño del sistema en diversos criterios. Por otro lado, los sistemas de **metro ligero** requieren segregación total del derecho de vía para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente, que se acompañan de un mayor requerimiento de obras de infraestructura, no opcionales y un mejor desempeño en cuanto a velocidad, confiabilidad y regularidad del sistema.

5. Las diferencias principales entre alternativas se explican principalmente por los requerimientos de infraestructura y no por la capacidad

Dado que todas las alternativas pueden cubrir la demanda estimada, las principales diferencias entre los sistemas evaluados se relacionan con:

- el grado de segregación del derecho de vía requerido,
- la complejidad de la infraestructura necesaria,
- los costos de inversión y tiempos de implementación.

En particular, los sistemas ferroviarios presentan mayores requerimientos de infraestructura fija y de integración con patios, sistemas eléctricos y señalización, mientras que las soluciones basadas en autobuses presentan mayor flexibilidad operativa y menores requerimientos de infraestructura especializada.

6. Las soluciones soterradas representan una alternativa con ventajas técnicas que impactan significativamente en el desempeño del sistema.

El soterramiento del sistema permite mantener la continuidad de los corredores sin generar barreras urbanas en superficie, al mismo tiempo que garantiza mayores niveles de velocidad comercial, confiabilidad y capacidad operativa.

Además, la restitución de la superficie puede generar oportunidades de mejora del espacio público y de reorganización del sistema de movilidad urbana.



A continuación, se presenta una síntesis gráfica de los criterios evaluados preliminarmente en este documento, con el objetivo de conformar una herramienta de análisis y comparación de las distintas alternativas de proyecto en esta etapa inicial del estudio.



Tabla 34. Resumen de resultados de la evaluación de criterios para las alternativas tecnológicas a nivel

			BRT	Biarticulado 25m	a Nivel
			Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
5. 1 Factibilidad Técnica, Física y Operacional		SIN carriles adicionales	Suficiente		
	5.1.1 Disponibilidad de espacio (secciones)	+ 1 Carril mixto por sentido	Suficiente con espacios críticos	Suficiente	Suficiente con espacios críticos
		+ 2 Carril mixto por sentido	Insuficiente	Suficiente con espacios críticos	Insuficiente
	5.1.2 Requerimientos de infraestructura	Requerimientos de obra civil	Basico		
	5.1.3 Densidad de cruces vehiculares y peatonales	Impacto en proyecto: Desempeño, seguridad vial y fase constructiva.	8 de Oct: Medio - Alto	Av. Italia: Bajo	18 de Julio: Inadecuado
			Con Maldonado: Medio	Giannattassio - Bajo	-
	5.1.4 Nodos especiales / casos particulares	Nodo Tres Cruces	Elevado		
		Integración modal y de entorno	Bajo		
		Intersecciones críticas	Bajo (2 intersecciones)	Medio - 4 intersecciones	NA - no hay casos
	5.2 Desempeño Operacional	5.2.1 Capacidad nominal	Holgura / margen de crecimiento de la demanda	Suficiente con margen de crecimiento	Suficiente con margen de crecimiento
5.2.2 Puntualidad y regularidad		Nivel de servicio	Regular	Bueno	Baja
5.2.3 Tiempos de espera		Tiempo máximo en función de intervalo de diseño (hora pico)	Optimo	Optimo	Optimo
5.2.4 Velocidad		¿Hay incremento en función de velocidad actual?	Mejoras por derecho de vía exclusivo	Mejoras por derecho de vía exclusivo	Semejante a situación actual
5.2.5 Complejidad operacional		Complejidad de la operación en función del esquema de rutas	Media		Alta
3. Impacto con el sistema de transporte actual	5.3.12 Cambios en patrones de transbordo	Impacto en patrones de viaje por tiempos de caminatas de transferencia	Intermedio		Bajo
	5.3.2 Reestructuración de líneas	Dificultar de ajustar rutas alimentadoras y remanentes	Intermedia	Baja	Alta
	5.3.3 Participación de operadores existentes	Posibilidad de reconversión de operadores y mano de obra	Alta		
	5.3.4 Flexibilidad y resiliencia operativa	Capacidad de continuar el servicio	Media - Alta		Media
4. Aspectos financieros	5.4.1 CAPEX	Inversión estimada por KM	~ 17 USD Millones / km		

Tranvía - Tren Ligero	Tram 5 módulos 33 m	a Nivel
Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
Suficiente		
Suficiente con espacios críticos	Suficiente	Suficiente con espacios críticos
Insuficiente	Suficiente con espacios críticos	Insuficiente
Médio		
8 de Oct: Medio - Alto	Av. Italia: Bajo	18 de Julio: Inadecuado
Con Maldonado: Medio	Giannattassio - Bajo	-
Muy elevado		
Bajo		
Bajo (2 intersecciones)	Elevado - 4 intersecciones	NA - no hay casos
Suficiente con margen de crecimiento	Suficiente con margen de crecimiento	Suficiene con poco margen
Regular	Buena	Baja
Optimo	Aceptable	Optimo
Mejoras por derecho de vía exclusivo	Mejoras por derecho de vía exclusivo	Semejante a situación actual
Media		Alta
Intermedio		
Intermedia	Baja	Muy alta
Baja		
Media		Baja
~ 51 USD Millones / km		

Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes



Tabla 35. Resumen de resultados de la evaluación de criterios para las alternativas tecnológicas a desnivel (soterrado)

			BRT	Biarticulado 25m	Soterrado	Tranvía - Tren Ligero	Tram 5 módulos 33 m	Soterrado	Metro - Ligero	Tren 3 vagones 55m	Soterrado
			Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio	Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio	Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
5. 1 Factibilidad Técnica, Física y Operacional	5.1.1 Disponibilidad de espacio (secciones)	2 carriles vías más andén subteraneo	Suficiente			Suficiente			Suficiente		Suficiente con espacios críticos
	5.1.2 Requerimientos de infraestructura	Requerimientos de obra civil	Elevado			Muy elevado			Muy elevado		
	5.1.3 Densidad de cruces vehiculares y peatonales	Impacto en proyecto: Desempeño, seguridad vial y fase constructiva.	8 de Oct:Medio	Av. Italia: bajo	18 de Julio: Medio	8 de Oct:Medio	Av. Italia: bajo	18 de Julio: Medio	8 de Oct:Medio	Av. Italia: bajo	18 de Julio: Medio
			Con. Maldonado: bajo	Av. Italia: bajo	-	Con. Maldonado: bajo	Av. Italia: bajo	-	Con. Maldonado: bajo	Av. Italia: bajo	-
	5.1.4 Nodos especiales / casos particulares (dificultad de la obra)	Nodo Tres Cruces	Elevado			Elevado			Muy elevado		
		Integración modal y de entorno	Bajo			Bajo			Medio		Muy elevado
Intersecciones críticas		NA	Medio	NA	NA	Medio	NA	NA	Medio	NA	
5.2 Desempeño Operacional	5.2.1 Capacidad	Holgura / margen de crecimiento de la demanda	Suficiente con margen de crecimiento			Suficiente con margen de crecimiento		Suficiene con poco margen	Suficiente con margen de crecimiento		
	5.2.2 Confiabilidad	Nivel de servicio	Buena			Buena			Muy buena		
	5.2.3 Tiempos de espera	Tiempo máximo en función de intervalo de diseño (hora pico)	Optimo			Optimo	Aceptable	Optimo	Aceptable	Inadecuado	Aceptable
	5.2.4 Velocidad	¿Hay incremento en función de velocidad actual?	Optimo, sin interferencias			Optimo, sin interferencias			Optimo, sin interferencias		
	5.2.5 Complejidad operacional	Complejidad de la operación en función del esquema de rutas	Media		Alta	Media		Alta	Baja		
3. Impacto con el sistema de transporte actual	5.3.12 Cambios en patrones de transbordo	Impacto en patrones de viaje por tiempos de caminatas de transferencia	Intermedio		Bajo	Intermedio	Intermedio - Alto	Intermedio	Alto	Muy Alto	Intermedio
	5.3.2 Reestructuración de líneas	Dificultar de ajustar rutas alimentadoras y remanentes	Baja			Baja			Baja		
	5.3.3 Participación de operadores existentes	Posibilidad de reconversión de operadores y mano de obra	Alta			Baja			Baja		
	5.3.4 Flexibilidad y resiliencia operativa	Capacidad de continuar el servicio	Alta			Muy alta			Muy alta		
4. Aspectos financieros preliminares	5.4.1 CAPEX	Inversión estimada por KM (se incorpora el costo de soterramiento a la alternativa modal básica)	~ 61 USD Millones / km			\$95 USD Millones / km			243 USD Millones / km		

Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes



Tabla 36. Resumen de escalas de evaluación de criterios

Escala		<< Mejor desempeño		Peor desempeño >>	
5.1.1 Disponibilidad de espacio (secciones)	Suficiencia de sección vial	Suficiente		Insuficiente	
5.1.2 Requerimientos de infraestructura	Requerimientos de obra civil	Basico		Elevado - aspectos adicionales por tecnología con impacto significativo en costos, requerimientos y tiempos	Muy elevado - aspectos adicionales por tecnología con impacto significativo en costos, requerimientos y tiempos de escala significativamente mayor
5.1.3 Densidad de cruces vehiculares y peatonales	Impacto en proyecto: Desempeño, seguridad vial y fase constructiva	Bajo		Medio	Medio - Alto
5.1.4 Nodos especiales / casos particulares	Dificultad de la obra	Basico		Medio - aspectos adicionales por tecnología	Muy elevado - aspectos adicionales por tecnología y complejidad tecnológica y de obra civil
5.2.1 Capacidad nominal	Holgura en la capacidad con misma tipología de infraestructura y vehicular	Capacidad suficiente con > 20% de holgura de de capacidad		Capacidad suficiente con 5% - 20 % de holgura de de capacidad	Capacidad suficiente sin holgura de capacidad (0 - 5%)
5.2.2 Puntualidad y regularidad	Tiempo máximo en función de intervalo de diseño (hora pico)	Muy buena	Buena	Regular	Baja
5.2.3 Tiempos de espera	Percepción de disponibilidad del servicio	Optimo: percepción de alta disponibilidad		Aceptable: tolerable por usuarios de acuerdo a niveles de estrés cotidiano y percepción de disponibilidad de servicio	Inadecuado: se cruza un umbral psicológico crítico, donde el servicio deja de percibirse como continuo,
5.2.4 Velocidad	¿Hay incremento en función de velocidad actual?	25 - 40 km/hr Máxima optimización de velocidad - sin interferencias externas	20-30 km/hr - Mejoras por carril exclusivo y pocas interferencias	18 - 25 km/hr - Mejora por carril exclusivo	12-18 km/hr - Rango actual
5.2.5 Complejidad operacional	Complejidad de la operación en función del esquema de rutas	Baja		Media	Alta
5.3.12 Cambios en patrones de transbordo	Impacto en patrones de viaje por tiempos de caminatas de transferencia	Bajo - No modifica o modifica marginalmente los patrones de viaje		Intermedio / con matices - modifica algunos de los patrones de viaje o penaliza transferencias	Alto - Modifica patrones de viaje y penaliza transferencias por caminata o tiempos de espera
5.3.2 Reestructuración de líneas	Dificultar de ajustar rutas alimentadoras y remanentes	Baja - Altamente asimilable		Intermedia - Red compatible con troncoalimentación con requerimientos operativos y de infraestructura	Alta - Requiere diferenciación de rutas integradas física y operacionamente al troncal, reestructuraciones de espacio complejizan trazado y transferencias de los pasajeros
5.3.3 Participación de operadores existentes	Posibilidad de reconversión de operadores y mano de obra	Alta viabilidad de incorporación		Incorporación condicionada	Baja viabilidad de incorporación
5.3.4 Flexibilidad y resiliencia operativa	Capacidad de continuar el servicio	Muy alta	Alta viabilidad de incorporación	Media alta	Media
5.4.1 CAPEX	Inversión estimada por KM	< 25 USD Millones		\$25 a \$75 USD Millones	\$75 a \$150 USD Millones
					>150 USD Millones

Fuente: elaboración propia.



Referencias

- Alberti, J., Beltrán, O., Juárez, R., & Pereyra, A. (2022). *Líneas A y B del Metro de Medellín: Luces y sombras de un megaproyecto transformador* (Monografía del BID No. 1004). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Lineas-A-y-B-del-Metro-de-Medellin-luces-y-sombras-de-un-megaproyecto-transformador.pdf>
- Alouche, P. (2019). *Aeromóvel* [Presentación]. Semana de Tecnología. https://www.semanadetecnologia.com.br/25semana/wp-content/uploads/2019/07/T20_Aeromovel_Peter_Alouche.pdf
- Alstom. (22 de octubre de 2020). *El tranvía de Cuenca entró en operación*. <https://www.alstom.com/es/press-releases-news/2020/10/el-tranvia-de-cuenca-entro-en-operacion>
- Anciaes, Paulo, & Mindell, Jennifer S. (2021) Community severance. In: Vickerman, Roger (eds.) *International Encyclopedia of Transportation*. vol. 6, pp. 246-253. UK: Elsevier Ltd.
- Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos (ALAMYS). (2017). *Radiografía ALAMYS 2017, el mayor crecimiento de redes metroferroviarias en Latinoamérica de la historia* (Boletín Técnico N° 2). <https://www.alamys.org/wp-content/uploads/2017/12/Boletin-Tecnico-n2-ESP.pdf>
- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). (2017). *Encuesta de movilidad del Área Metropolitana de Montevideo 2016*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1078>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2015). *Casos de estudio comparativos de tres proyectos de transporte urbano apoyados por el BID*. <https://publications.iadb.org/es/publications/english/viewer/Comparative-Case-Studies-of-Three-IDB-supported-Urban-Transport-Projects.pdf>
- Bastidas Zelaya, E. (s. f.). *Procesos concesionales de sistemas de metro en ciudades de Latinoamérica* [Presentación].
- Bruun, E. (2005). Bus rapid transit and light rail: Comparing operating costs with a parametric cost model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1927, 11-21. <https://doi.org/10.1177/0361198105192700102>
- Bruun, E. (2005). Bus rapid transit and light rail: Comparing operating costs with a parametric cost model.



CINVE. (2023). *La transformación del sistema de transporte público en el Área Metropolitana de Montevideo*. <https://cinve.org.uy/wp-content/uploads/2023/12/La-Transformaci%C3%B3n-del-Sistema-de-Transporte-P%C3%ABlico-en-el-%C3%81rea-Metropolitana-de-Montevideo-GeTM-dic-2023.pdf>

CSI Ingenieros (CSI). (2025). Alternativas de priorización del transporte público en el área céntrica de Montevideo. <https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/book/6260/download>

Díaz, R., Mojica, C. H., & Hollnagel, J. (2018). *Retos y lecciones aprendidas en la implementación de proyectos de transporte público: Cinco casos de Latinoamérica* (Nota técnica IDB-TN-1567). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Retos-y-lecciones-aprendidas-en-la-implementaci%C3%B3n-de-proyectos-de-transporte-p%C3%ABlico-cinco-casos-de-Latinoam%C3%A9rica.pdf>

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU). (2025). *Proyecto de movilidad metropolitana: Derecho a la movilidad / Derecho al espacio público* [Informe]. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. <https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/book/6217/download>

Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & van Wee, B. (2008). Comparison of capital costs per route-kilometre in urban rail. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 8(1), 17–30. <https://journals.open.tudelft.nl/ejtir/article/view/3327>

Gómez-Lobo, A. (2025). *Putting the passenger first: What works and what does not work in urban mobility reforms in Latin America and the Caribbean* (Discussion Paper No. IDB-DP-01081). Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/en/publications/english/viewer/Putting-the-Passenger-First-What-Works-and-What-does-not-Work-in-Urban-Mobility-Reforms-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>

Hidalgo, D., & Gutiérrez, L. (2013). *BRT and bus corridor performance: Costs, impacts, and operational efficiency*. World Bank.

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). (2010). *Guía de planificación de sistemas BRT*. <https://itdp.org/wp-content/uploads/2014/07/01.-BRT-Guide-Spanish-complete.pdf>

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). (2017). *The BRT planning guide* (4th ed.). <https://brtguide.itdp.org/branch/master/guide/pdf/the-brt-planning-guide.pdf>



Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). (2017). *The BRT standard*. ITDP.

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). (2024). *El estándar BRT*. <https://itdp.org/wp-content/uploads/2024/03/BRT-STANDARD-ES-2024-SEPT.pdf>

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2025, 25 de julio). *¿Qué departamentos crecerán o perderán población en los próximos 20 años?* Gobierno de Uruguay. <https://www.gub.uy/instituto-nacional-estadistica/comunicacion/noticias/departamentos-creceran-perderan-poblacion-proximos-20-anos>

Intendencia de Montevideo (IMM). (2025). *Sistema de Transporte Metropolitano*. Movilidad. <https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/sistema-de-transporte-metropolitano/el-sistema>

Intendencia de Montevideo (IMM). (s.f.). *Carril solo bus*. Movilidad. <https://montevideo.gub.uy/tipo/area-tematica/movilidad/carril-solo-bus>

Kittelson & Associates, Inc., KFH Group, Inc., Parsons Brinckerhoff Quade & Douglass, Inc., & Hunter-Zaworski, K. (2013). *Transit capacity and quality of service manual* (3rd ed., TCRP Report 165). Transportation Research Board of the National Academies.

Kohon, J. (2011). *Más y mejores trenes: Cambiando la matriz de transporte en América Latina y el Caribe* (Nota técnica IDB-TN-303). Banco Interamericano de Desarrollo.

Kohon, J. (2019). *Ferrocarriles suburbanos de pasajeros en América Latina: Banco de datos, caracterización, indicadores y benchmarks* (Nota técnica del BID No. 2527). Banco Interamericano de Desarrollo.

Montalbo Jr., C., & Brader, C. (2015). Dignity of travel: Bus rapid transit development in the Philippines. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10. <https://easts.info/on-line/proceedings/vol10/pdf/1341.pdf>

ONU-Hábitat. (2013). *Metro, tren ligero y sistemas de ómnibus rápido (BRT)*. En *Planificación y diseño de una movilidad urbana sostenible: Informe mundial sobre asentamientos humanos 2013* (cap. 3). <https://unhabitat.org/books/planificacion-y-diseno-de-una-movilidad-urbana-sostenible-espanol-language-version/>

Rivas, M. E., Calatayud, A., Hansz, M., Brichetti, J. P., Rodríguez, J. M., León-Gómez, C., Navas, C., Pereyra, A., Alem, M., & Sánchez, S. (2025). *Fondeo y financiamiento del transporte público en América Latina y el Caribe* (Monografía del BID No. 1309). Banco Interamericano de Desarrollo.



<https://publications.iadb.org/es/publications/english/viewer/Funding-and-Financing-of-Public-Transport-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf>

REDES Planejamento e Política Pública em Mobilidade Urbana (REDES) (2025). *Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas*.

<https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/book/6196/download>

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) & Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (s. f.). *Manual de calles: Diseño vial para ciudades mexicanas*. SEDATU.

Shahab, H., & Mohammed, H. (2022). *Formalizing public transit in mid-sized developing cities: A review of strategies for sustainable and resilient mobility*.

Shahab, H., & Mohammed, H. (2025). *Formalizing public transit in mid-sized developing cities: A review of strategies for sustainable and resilient mobility* [Informe técnico]. <https://aro.koyauniversity.org/index.php/aro/article/view/2185/479>

Spriggett, B. (2025). *Los sistemas metro con mayor espacio entre estaciones, tienden a funcionar más rápido*. Works in Progress. <https://worksinprogress.co>

Transport and ICT. (2017). *La reforma de los ferrocarriles: Manual para mejorar el rendimiento del sector ferroviario*. Banco Mundial.

Transport for London. (2022). *Bus Safety Standard, Bus braking data analysis*, PUBLISHED PROJECT REPORT PPR1013, pp3 . <https://content.tfl.gov.uk/bus-safety-standard-bus-braking-data-analysis.pdf>

UITP. (2022). *Rail success stories*. <https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/04/Report-Rail-Succes-Stories-JUNE2022-web.pdf>

UITP. (2024). *Global metro figures 2024: Statistics brief*. https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/08/20250822_Global-Metro-Figures_Statistics-Brief_WEB.pdf

UN-Habitat. (2013). *Planning and design for sustainable urban mobility: Global report on human settlements 2013*. United Nations Human Settlements Programme.

Vassallo, J. M., & Bueno, P. C. (2019). *Transport challenges in Latin American cities: Lessons learnt from policy experiences* (Monografía del BID No. 692). Inter-American Development Bank.

Vuchic, V. R., Day, F. B., & Stanger, R. M. (1975). *Rail transit—Characteristics, innovations, and trends*. *Highway Research Record*. Transportation Research Board.



Wirasinghe, S. C., Kattan, L., Rahman, M. M., Hubbell, J., Thilakaratne, R., & Anowar, S. (s. f.). *Bus rapid transit (BRT): A review*. University of Calgary.

World Bank Independent Evaluation Group. (2017). *Mobile metropolises: Urban transport matters: An IEG evaluation of the World Bank Group's support for urban transport*. World Bank.

World Bank. (2002). *Cities on the move: A World Bank urban transport strategy review*.

World Bank. (2012). *Cities on the move: A World Bank urban transport strategy review*. World Bank.

Wright, L., & Hook, W. (Eds.). (2010). *Guía de planificación de sistemas BRT: Autobuses de tránsito rápido* (3rd ed.; C. Pardo, Trad.). Institute for Transportation & Development Policy.

Yañez-Pagans, P., Martínez, D., Mitnik, O. A., & Scholl, L. (2018). *Sistemas de transporte urbano en América Latina y el Caribe: Lecciones y retos* (Nota técnica N.º 8). Corporación Interamericana de Inversiones (IDB Invest).

Zamora-Colín, U., Campos-Alanís, H., & Calderón-Maya, J. R. (2013). Bus rapid transit (BRT) en ciudades de América Latina: Los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil). *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 15(1), 101–118.

Zamorano, C., Bigas, J. M., y Sastre, J. (2006). *Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada*. Consorcio Regional de Transportes de Madrid.



Anexo 1. Proyectos relevados para el estudio económico

Listado de proyectos e información consolidada:

Región	País	Ciudad	Año	Modo	Longitud (km)	CAPEX Total USD	Costo por KM	Características de la Vía
LATAM	Argentina	Buenos Aires	2013	Metro	64	ND	ND	Subterráneo
LATAM	Perú	Lima	2011	Metro	33	4,323	131.0	Mixto (subterráneo + superficie)
LATAM	Colombia	Medellín	2004	Metro	31	ND	ND	Elevado
LATAM	México	Ciudad de México	2014	Metro	227	19,592	86.5	Mixto (subterráneo + superficie)
LATAM	Panamá	Panamá	2014	Metro	14	1,852	135.2	Mixto (subterráneo + superficie)
LATAM	Ecuador	Quito	2023	Metro	22	2,105	95.7	Subterráneo
LATAM	Brasil	Río de Janeiro	2016	Metro	59	14,750	250.0	Mixto (subterráneo + superficie)
LATAM	Chile	Santiago	2017	Metro	149	11,115	74.6	Subterráneo
LATAM	República Dominicana	Santo Domingo	2018	Metro	31	ND	ND	Mixto (subterráneo + superficie)
LATAM	Bolivia	Cochabamba	2022	LRT	46	417	9.2	Mixto (subterráneo + elevados + superficie)
LATAM	Ecuador	Cuenca	2020	LRT	11	300	28.0	Nivel de calle (superficie)
LATAM	México	Guadalajara	2020	LRT	22	1,377	63.4	Mixto (subterráneo +



								elevados + superficie)
LATAM	Colombia	Medellín	2015	LRT	4	ND	ND	Mixto (superficie + elevado)
LATAM	México	Ciudad de México	2019	LRT	25	ND	ND	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Río de Janeiro	2016	LRT	28	223	7.9	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Santos	2016	LRT	12	ND		Nivel de calle (superficie)
LATAM	Colombia	Bogotá	2000	BRT	114	938	8.2	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Colombia	Bucaramanga	2010	BRT	18	ND		Nivel de calle (superficie)
LATAM	Colombia	Cali	2009	BRT	36	285	7.9	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Curitiba	1996	BRT	74	178	2.4	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Ecuador	Guayaquil	2016	BRT	47	75	1.6	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Perú	Lima	2012	BRT	26	261	10.0	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Colombia	Medellín	2011	BRT	18	0		Nivel de calle (superficie)
LATAM	México	Ciudad de México	2018	BRT	140	693	5.0	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Colombia	Pereira	2006	BRT	16	45	2.9	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Ecuador	Quito	2005	BRT	71	143	2.0	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Río de Janeiro	2012	BRT	168	2,990	17.8	Mixto (superficie + elevado)
LATAM	Uruguay	Montevideo	2012	BRT	18	119	6.6	Nivel de calle (superficie)



Resto del Mundo	Estados Unidos	Alameda	2016	BRT	23	241	10.5	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Boston	2002	BRT	40	2,780	69.5	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Cleveland	2008	BRT	11	220	19.4	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Flagstaff	2011	BRT	6	9	1.4	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Hartford	2015	BRT	15	189	12.3	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Jacksonville	2016	BRT	18	24	1.4	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Las Vegas	2004	BRT	12	26	2.2	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Los Angeles	2005	BRT	23	387	16.7	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Los Angeles	2012	BRT	6	182	28.5	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Pittsburgh	2003	BRT	4	82	22.2	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	San Francisco	2018	BRT	3	128	39.8	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	San Francisco	2022	BRT	10	309	32.2	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Baltimore	2006	LRT	15	193	12.8	Nivel de calle (superficie)



Resto del Mundo	Estados Unidos	Charlotte	2007	LRT	15	537	35.0	Elevado
Resto del Mundo	Estados Unidos	Dallas	2002	LRT	20	594	29.7	Elevado
Resto del Mundo	Estados Unidos	Dallas	2010	LRT	33	1,552	46.4	Elevado
Resto del Mundo	Estados Unidos	Dallas	2012	LRT	4	247	59.3	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Denver	2006	LRT	31	1,113	36.4	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Los Angeles	2003	LRT	22	512	23.5	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Los Angeles	2009	LRT	10	1,009	105.1	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Memphis, TN	2004	LRT	3	74	23.1	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Minneapolis, MN	2004	LRT	19	911	49.1	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Minneapolis, MN	2020	LRT	23	1,712	73.8	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Minneapolis, St. Paul	2014	LRT	16	1,020	65.1	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Minneapolis, St. Paul	2021	LRT	21	910	42.8	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Newark, NJ	2006	LRT	2	265	165.4	Subterráneo



Resto del Mundo	Estados Unidos	New Jersey	2002	LRT	15	1,163	78.0	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	New Jersey	2003	LRT	45	935	20.9	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	New Jersey	2006	LRT	10	1,186	121.5	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Norfolk	2011	LRT	12	337	28.8	Elevado
Resto del Mundo	Estados Unidos	Oceanside	2008	LRT	35	534	15.2	Elevado
Resto del Mundo	Estados Unidos	Phoenix	2008	LRT	32	1,570	49.8	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Pittsburgh	2005	LRT	9	515	58.5	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Pittsburgh	2012	LRT	2	886	461.2	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Portland	2004	LRT	9	412	44.4	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Portland	2009	LRT	15	646	43.4	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Portland	2016	LRT	12	1,220	104.5	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Sacramento	2003	LRT	10	279	27.6	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	Sacramento	2005	LRT	21	358	17.4	Nivel de calle (superficie)



Resto del Mundo	Estados Unidos	Salt Lake	2011	LRT	17	674	39.7	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Estados Unidos	San Diego	2005	LRT	9	645	68.3	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	Seattle, WA	2023	LRT	25	2,869	115.0	Subterráneo
Resto del Mundo	Estados Unidos	St, Louis, MO	2001	LRT	28	506	18.2	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Túnez	Tunis	1985	LRT	30	399	13.3	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Francia	Lyon	2001	LRT	18	340	18.9	Mixto (superficie + subterráneo)
Resto del Mundo	Francia	Bordeaux	2003	LRT	23	472	20.5	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	Suiza	Zurich	1976	LRT	20	840	42.0	Nivel de calle (superficie)
Resto del Mundo	China	Hong Kong	2014	Metro	82	18,040	220.0	Subterráneo
Resto del Mundo	Dinamarca	Copenhagen	2002	Metro	21	1,466	69.8	Mixto (subterráneo + elevados)
Resto del Mundo	España	Madrid	1979	Metro	56	1,503	26.7	Mixto (subterráneo + superficie)
Resto del Mundo	Francia	Toulouse	1993	Metro	10	591	60.9	Mixto (subterráneo + elevados)
Resto del Mundo	Francia	Toulouse	1993	Metro	2	178	81.1	Subterráneo



Resto del Mundo	Francia	Marseille	1977	Metro	20	1,158	59.1	Mixto (subterráneo + elevados + superficie)
Resto del Mundo	Francia	Lille	1983	Metro	29	1,624	56.0	Mixto (subterráneo + elevados)
Resto del Mundo	Francia	Lyon	1978	Metro	14	1,113	79.5	Subterráneo
Resto del Mundo	Francia	Toulouse	1993	Metro	15	948	63.2	Subterráneo
LATAM	Brasil	Sorococoba	2017	BRT	17	106	6.4	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Itajai	2013	BRT	103	278	2.7	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Goiás	2014	LRT	14	250	18.5	Nivel de calle (superficie)
LATAM	Brasil	Sao Paulo	2016	LRT	27	444	16.8	Mixto (subterráneo + elevados + superficie)
LATAM	México	Puebla Línea 1	2013	BRT	35	100	2.9	Nivel de calle (superficie)
LATAM	México	Juarez	2013	BRT	19	111	5.7	Nivel de calle (superficie)
LATAM	México	Pachuca	2015	BRT	17	59	3.6	Nivel de calle (superficie)
LATAM	México	León	2003	BRT	25	94	3.7	Nivel de calle (superficie)
LATAM	México	Monterrey	2014	BRT	30	107	3.6	Nivel de calle (superficie)

