

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

Informe Final

Revisión 3.5

Julio 2026



Índice

1.	Introducción.....	6
1.1.	Contexto del Proyecto.....	7
1.2.	Objetivo.....	9
1.3.	Resumen metodológico.....	11
2.	Contexto.....	14
2.1.	El sistema de Transporte Público del AMM.....	14
2.1.1.	Contexto general del sistema.....	14
2.1.2.	Disminución de la demanda de pasajeros del sistema e incremento en la venta de autos - Impactos en la movilidad.....	18
2.1.3.	Antecedentes de políticas públicas de transporte.....	19
2.2.	Corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8.....	21
2.2.1.	Camino Maldonado – Ruta 8.....	24
2.2.2.	Av. 8 de Octubre.....	25
2.3.	Corredor Avenida Italia – Avenida Giannattassio.....	26
2.3.1.	Avenida Giannattasio.....	29
2.3.2.	Avenida Italia.....	30
2.4.	Avenida 18 de Julio.....	31
2.4.1.	Ciudad Vieja.....	35
2.5	Síntesis del programa y red de corredores metropolitanos.....	36
3.	Caracterización conceptual de las alternativas modales.....	37
3.1.	Sistemas de ómnibus (BRT).....	39
3.1.1.	Tipologías.....	40
3.1.2.	Requerimientos de infraestructura y sección transversal.....	41
3.1.3.	Tipología vehicular (ómnibus biarticulado).....	43
3.1.4.	Parámetros operativos.....	44
3.1.5.	Implicancias urbanas y de implementación.....	46
3.2.	Sistemas de Tren Ligero (LRT).....	47



3.2.1.	Tipologías.....	48
3.2.2.	Requerimientos de infraestructura y sección transversal	49
3.2.3.	Tipología vehicular.....	51
3.2.4.	Parámetros operativos	51
3.2.5.	Implicancias urbanas y de implementación.....	53
3.3.	Sistemas de Tren Pesado (HRT).....	54
3.3.1.	Tipología	55
3.3.2.	Requerimientos de infraestructura y sección transversal	56
3.3.3.	Parámetros operativos	58
3.3.4.	Implicancias urbanas y de implementación.....	60
3.4.	Otras tecnologías guiadas de capacidad intermedia.....	61
3.4.1.	Monorriel.....	62
3.4.2.	Sistemas de buses guiados.....	63
3.4.3.	Aeromóvel	65
3.5.	Consideraciones generales para el contexto de Montevideo.....	67
4.	Premisas de diseño de las alternativas para el comparativo	69
4.1.	Características base de los corredores	70
4.1.1.	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado.....	71
4.1.2.	Corredor Italia – Giannattasio.....	73
4.1.3.	Av. 18 de Julio – Corredor de integración de ejes metropolitanos	74
4.2.	Definición de las alternativas para el comparativo	76
4.2.1.	Alternativa 1 – BRT Carril Central “confinado” con flota de ómnibus biarticulado, sin rebase	76
4.2.2.	Alternativa 2 – Tranvía (LRT ligero 290 pasajeros).....	77
4.2.3.	Alternativa 3 – Metro Ligero.....	77
4.2.4.	Infraestructura crítica de la red de corredores.	78
4.2.5.	Operadores del servicio de transporte.....	80
4.3.	Dimensionamiento operacional de las alternativas.....	81
4.4.	Cuadros resumen	86
5.	Análisis comparativo de modos.....	90



5.1.	Factibilidad Técnica, Física y Operacional	92
5.1.1.	Disponibilidad de espacio (secciones)	92
5.1.2.	Requerimientos de infraestructura	95
5.1.3.	Densidad de cruces vehiculares	99
5.1.4.	Nodos especiales / casos particulares.....	105
5.2.	Desempeño Operacional	109
5.2.1.	Capacidad nominal.....	109
5.2.2.	Puntualidad y regularidad en el servicio.....	112
5.2.3.	Tiempos de espera	115
5.2.4.	Velocidad operacional	117
5.2.5.	Complejidad operacional	120
5.3.	Impacto y adaptación al sistema de transporte existente	124
5.3.1.	Cambios en patrones de transbordo	124
5.3.2.	Reestructuración de líneas.....	127
5.3.3.	Participación de operadores existentes	129
5.3.4.	Flexibilidad y resiliencia operativa	132
5.4.	Aspectos económicos	135
5.4.1.	Introducción	135
5.4.2.	Metodología.....	135
5.4.1.	Alternativas evaluadas.....	137
5.4.2.	Supuestos adoptados.....	137
5.4.3.	Costos de inversión inicial (CAPEX)	140
5.4.4.	Costos de operación y mantenimiento (OPEX).....	155
5.4.5.	Costos de reposición (REPX)	161
5.4.6.	Estimación de valor residual	161
5.4.7.	Resultados.....	162
5.4.8.	Financiamiento de las alternativas de implementación	167
5.5.	Impacto ambiental y sustentabilidad	179
5.5.1.	Emisiones de CO ₂ durante la construcción y operación	179
5.5.2.	Contaminantes locales: Gases criterio, vibraciones y ruidos	184



5.5.3.	Integración con estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental	186
5.6.	Impacto urbano y social.....	188
5.6.1.	Desarrollo Orientado al Transporte	188
5.6.2.	Permeabilidad del corredor	191
5.6.3.	Espacio público e impacto visual.....	194
5.6.4.	Impacto en actividades comerciales.....	198
5.7.	Implementación y escalabilidad.....	202
5.7.1.	Plazos de ejecución típicos.....	202
5.7.2.	Posibilidad de implementación por etapas.....	204
5.7.3.	Ampliación de la capacidad y la cobertura (Escalabilidad).....	205
5.8.	Aspectos institucionales y de gobernanza	208
5.8.1.	Gestión institucional.....	208
5.8.2.	Gobernanza	210
	Resumen final.....	213
	Índice de figuras.....	223
	Referencias.....	228
	Anexo 1. Proyectos relevados para el estudio económico y comparativo de precios de implementación.....	235
	Anexo 2 – Descripción de alternativas contractuales	248
	Anexo 3 – Fuentes de financiamiento.....	253



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 2 (Informe Final) 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 finales 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, como parte del estudio se realizó un *benchmarking* internacional, orientado a conocer 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 consolidadas 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 y necesidades de aportes públicos.



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.
- **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 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:

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).



- **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.
- **Análisis 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 y visión 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:

- Viabilidad técnica, física y operacional
- Desempeño operacional
- Impacto y adaptación al sistema existente
- Aspectos económicos
- Impacto ambiental y sustentabilidad
- Impacto urbano y social
- Implementación y escalabilidad
- Aspectos institucionales y de gobernanza



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.



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

Contexto de demográfico y territorial

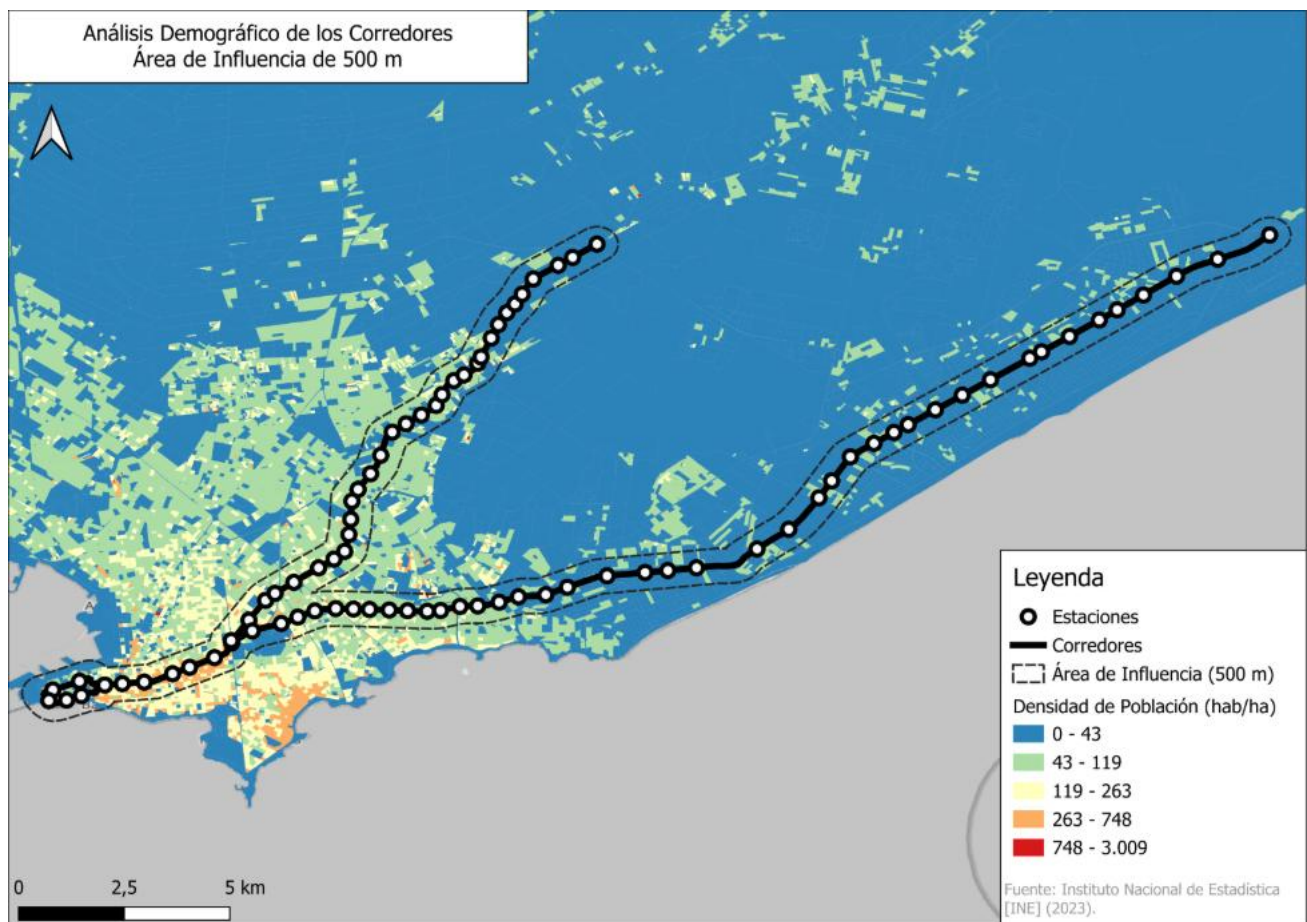
El AMM concentra una proporción significativa de la población y de las actividades del país. Abarca aproximadamente el 1,5% del territorio nacional y reúne en torno al 53% de la población total, con una extensión cercana a los 2.000 km² y una población estimada próxima a los 2 millones de habitantes. 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 disminución de población, con una reducción estimada de aproximadamente el 11% en las próximas dos décadas. 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.

Ilustración 1. Distribución de la densidad de población en el área de influencia de los corredores metropolitanos



Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística [INE] (2023)

A partir de estas proyecciones territoriales, el análisis de la matriz urbana del Área Metropolitana de Montevideo (AMM) evidencia una marcada asimetría en la distribución de sus densidades habitacionales. Hacia la periferia y los municipios limítrofes del departamento de Canelones, la densidad disminuye de manera drástica, dando paso a una configuración de urbanización dispersa o de baja densidad. Este fenómeno de expansión urbana horizontal se propaga principalmente a lo largo de los ejes de conectividad regional, donde el crecimiento residencial sigue una lógica orientada a los

corredores principales, fuertemente dependiente de las avenidas primarias para su vinculación con el centro económico de la capital.

Esta configuración territorial condiciona directamente el diseño de las alternativas modales del PTTMM, al generar demandas de transporte con patrones espaciales diferenciados. Como se observa en la Ilustración 1, las áreas centrales presentan densidades que oscilan entre 263 y 748 habitantes por hectárea, alcanzando valores de hasta 3.009 hab/ha en los sectores de mayor consolidación urbana.

En este entorno densamente poblado se unifican los flujos de demanda. Por lo tanto, el principal desafío del proyecto no es la captación de usuarios, sino la resolución de los puntos de saturación espacial. La escasez de sección de calzada e intensa actividad peatonal obligan a priorizar soluciones con un fuerte grado de segregación física. Las alternativas de soterramiento o carriles centrales confinados son esenciales en este tramo común para evitar la fricción con el tránsito general superficial.

Por el contrario, la Ilustración 1 muestra un predominio absoluto de áreas azules en los vectores regionales periféricos. En estos sectores la densidad cae drásticamente a rangos mínimos de 0 a 43 hab/ha, con algunos núcleos aislados de 43 a 119 hab/ha. Esta dispersión demográfica a lo largo de ejes como la Avenida Giannattasio y el Camino Maldonado reconfigura la operación del transporte colectivo, consolidando un patrón de viaje predominantemente pendular y de larga distancia.

Esta dualidad territorial introduce el desafío de evaluar tecnologías que logren equilibrar la rigidez de los modos de gran capacidad con la versatilidad necesaria para abastecer extensiones fragmentadas. Mientras que los tramos densos centrales plantean escenarios propicios para analizar soluciones de alta segregación física, los vectores periféricos exigen ponderar la flexibilidad de la oferta y la integración multimodal.

Contexto de Movilidad

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.

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



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 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.

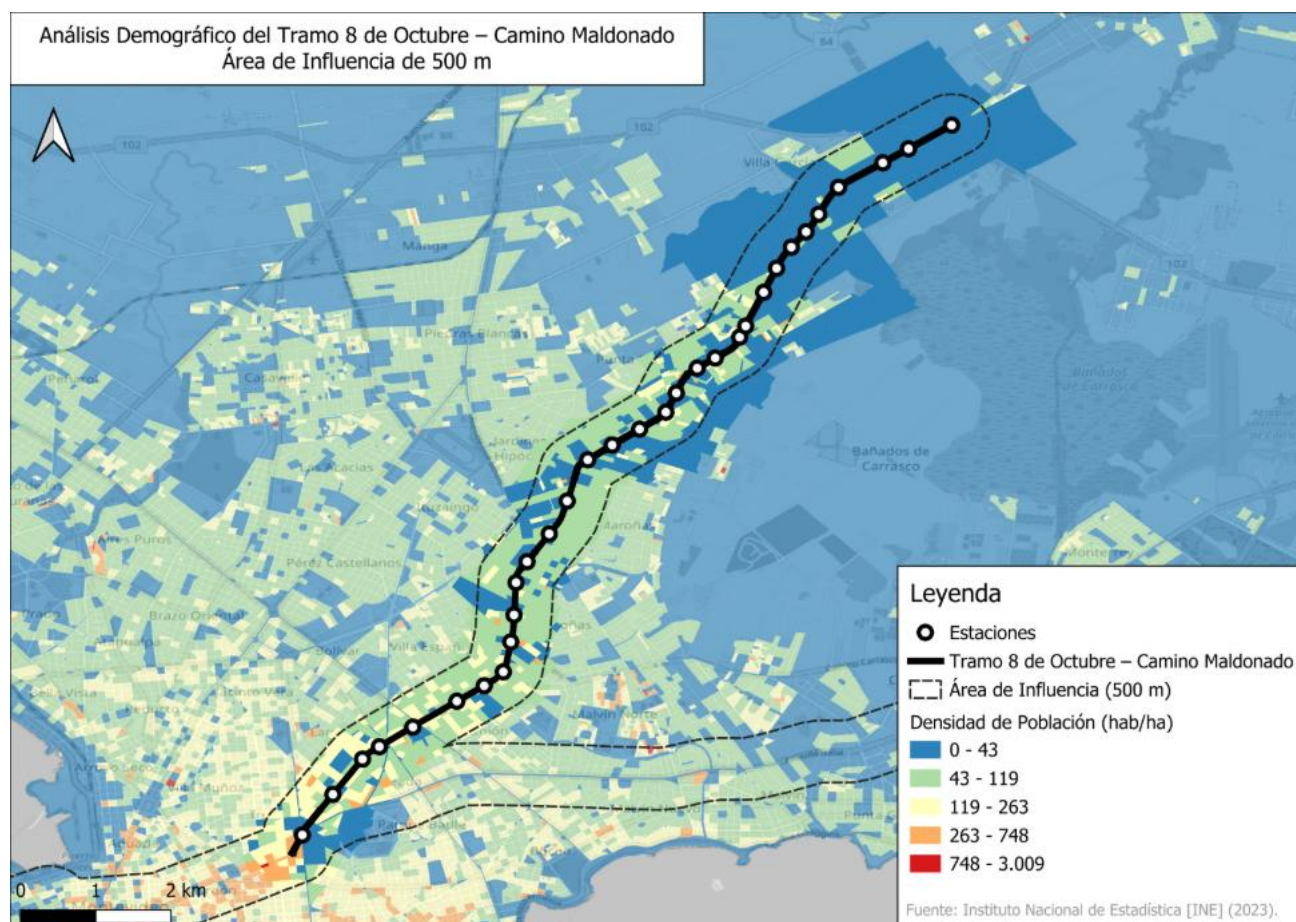
2.2. Corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8

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 15 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.



Ilustración 2. Distribución de la densidad de población en el área de influencia del corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8



Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística [INE] (2023)

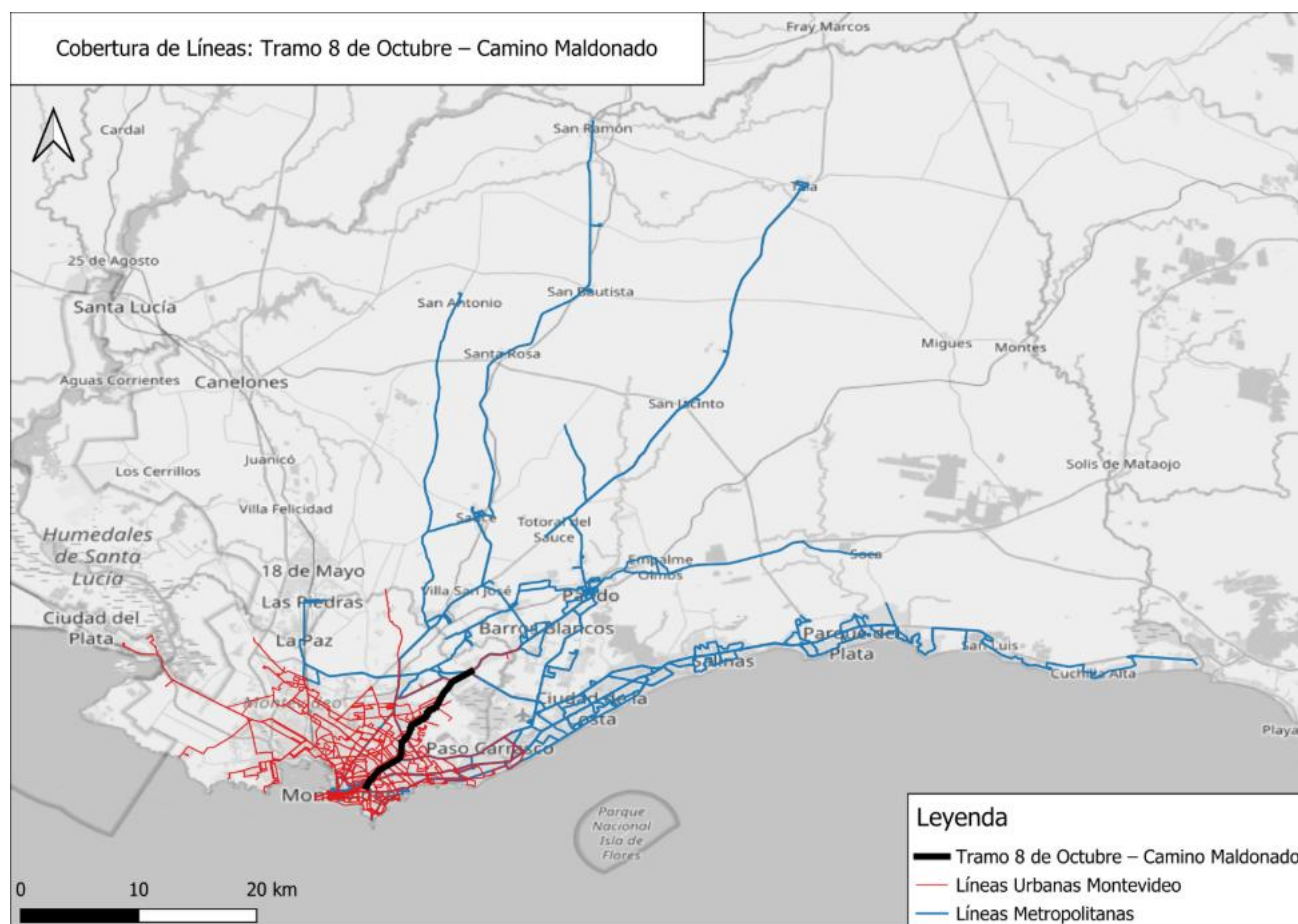
El análisis demográfico correspondiente a la franja de 500 metros de área de influencia del corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8 registra 120.649 residentes en la jurisdicción de Montevideo, lo que representa 34,53% de la población comprendida en las áreas de influencia de los corredores analizados del sistema metropolitano. Este resultado confirma la relevancia del eje dentro de la estructura urbana y de movilidad, al enlazar sectores residenciales en expansión y centralidades intermedias con el principal acceso hacia el área central. Como se observa en la Ilustración 2, la densidad habitacional se reduce progresivamente hacia la periferia, dando paso a un tejido suburbano disperso con rangos de 0 a 43 hab/ha. Sin embargo, la longitud del corredor y la cantidad de áreas urbanas que atraviesa permiten concentrar un elevado volumen potencial de demanda, consolidándolo como uno de los ejes más relevantes del sistema de transporte público metropolitano.

Para atender esta magnitud de demanda, el tramo 8 de Octubre – Camino Maldonado concentra una extensa red de servicios cuya representación espacial evidencia una vasta cobertura territorial, diferenciando en el mapa presentado en la Ilustración 3,



mediante un trazado rojo, la densa trama urbana de líneas de ómnibus urbanos de Montevideo y, en azul, la extensa conexión de líneas metropolitanas hacia el interior del departamento.

Ilustración 3. Cobertura de líneas en un área de influencia de 500 metros: Corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8



Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística [INE] e Intendencia de Montevideo (2023)

El corredor concentra una elevada intensidad de flujos, integra múltiples modos de transporte y constituye la principal puerta de entrada desde el noreste del área metropolitana. Estas características generan condiciones críticas de operación en distintos tramos, pero también ofrecen una oportunidad para implementar mejoras estructurales que incrementen la eficiencia, la confiabilidad y el atractivo del transporte público.

El *Proyecto de Movilidad Metropolitana. Derecho a la movilidad/Derecho al espacio público* (FADU, 2025) propone la reconfiguración integral del corredor, para la implementación de sistemas de mediana y alta capacidad, 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 Agustín 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

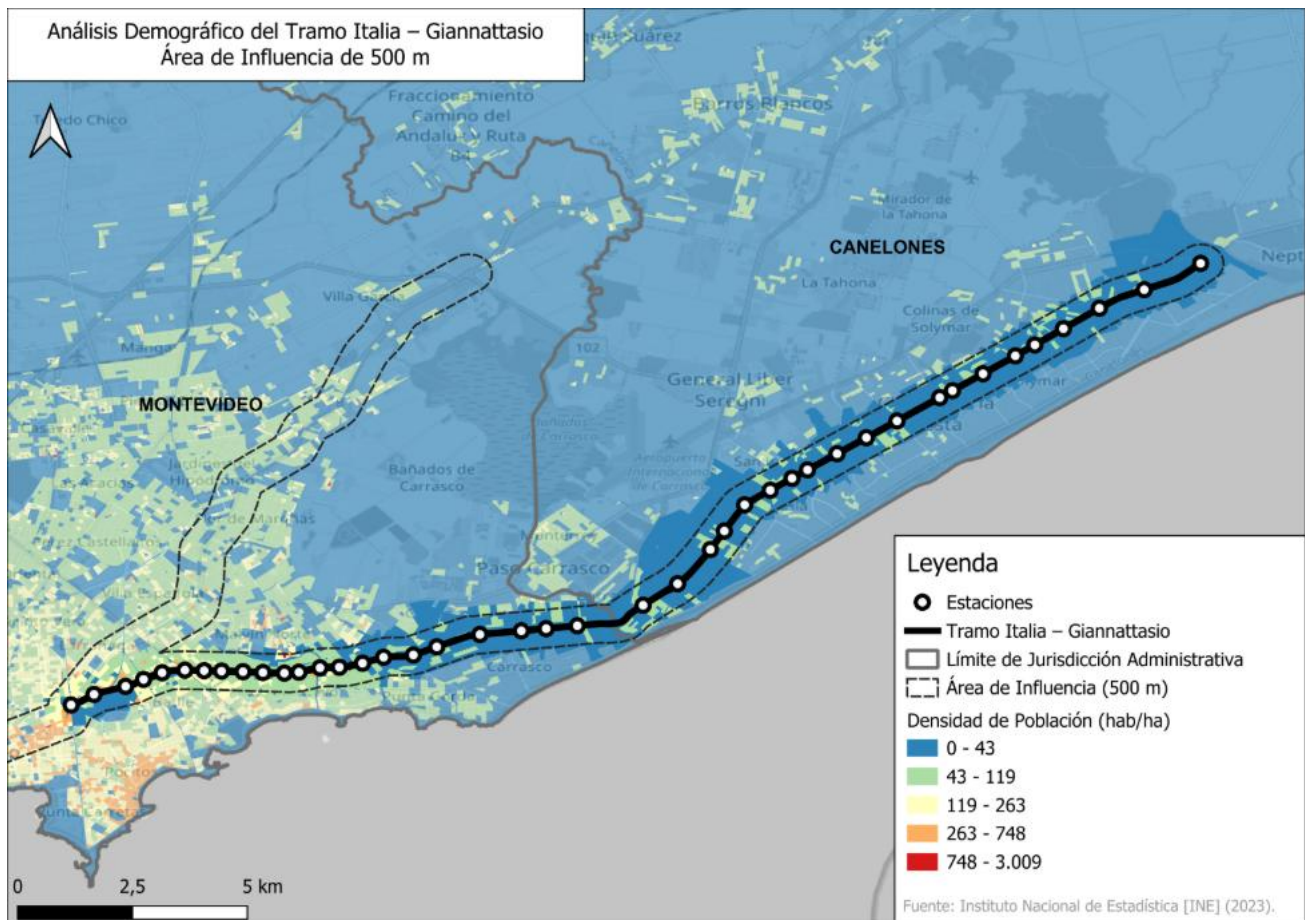
2.3. Corredor Avenida Italia – Avenida Giannattassio

El corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio, con una extensión aproximada de 28 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.



Ilustración 4. Distribución de la densidad de población en el área de influencia del corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio



Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística [INE] (2023)

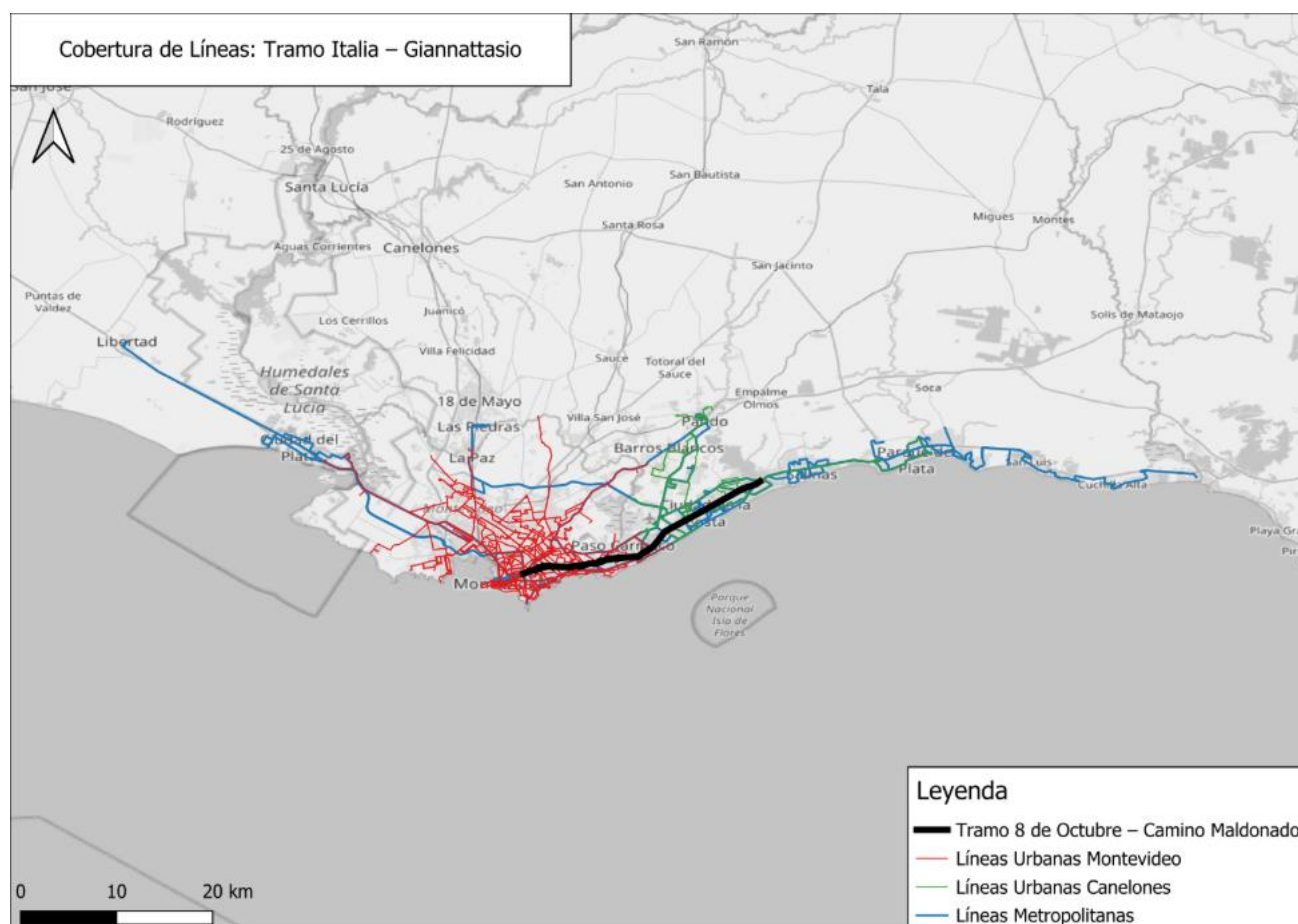
La evaluación demográfica dentro del área de influencia, definida por una franja de 500 metros en torno al corredor, identifica una población residente de 146.059 personas (Ilustración 4), lo que equivale al 41,8% de la población relevada en las áreas de influencia de los corredores analizados del sistema metropolitano. De este total, 98.926 habitantes corresponden al tramo bajo jurisdicción de Montevideo (28,31% del total analizado) y se concentran principalmente en barrios consolidados de alta densidad. Por su parte, el tramo correspondiente a Canelones agrupa 47.133 habitantes (13,49%), distribuidos en sectores residenciales en expansión de menor densidad.

En correspondencia con la magnitud de la población potencialmente atendida y la extensión territorial del corredor, el análisis espacial evidencia la amplia cobertura del sistema de transporte público en el Área Metropolitana. Como se observa en la Ilustración 5, la red integra los servicios urbanos de Montevideo (representados en rojo), los recorridos departamentales de Canelones (en verde) y las líneas suburbanas que se



extienden hacia la costa y el este (en azul), configurando un sistema de alcance metropolitano.

Ilustración 5. Cobertura de líneas en un área de influencia de 500 m: Corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio



Fuente. Elaboración propia

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 Hipólito 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 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. Avenida 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.



Ilustración 6. Distribución de la densidad de población en el área de influencia de la Avenida 18 de Julio



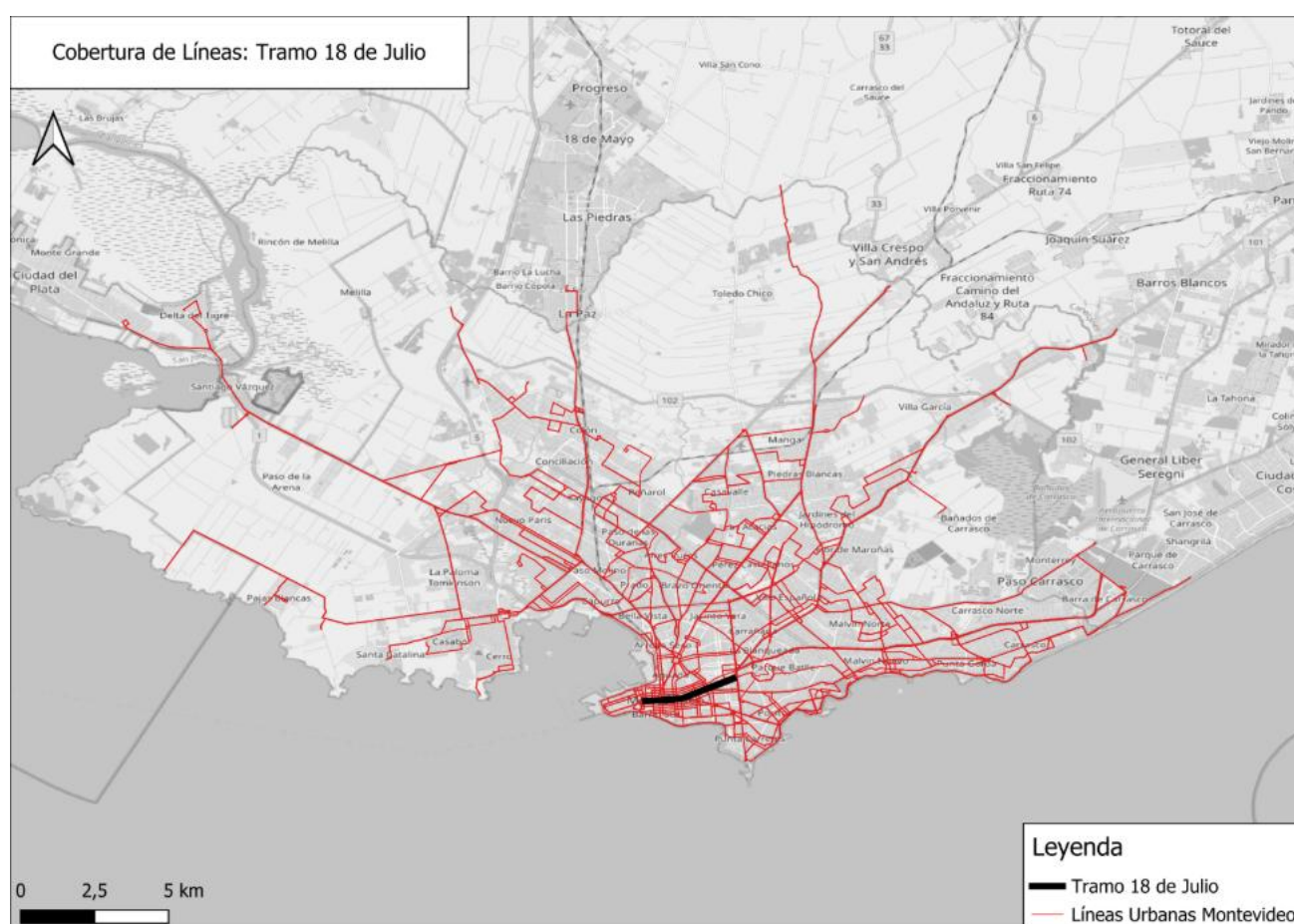
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Estadística [INE] (2023)

La evaluación demográfica para el área de influencia directa de 500 metros en torno al eje de la Avenida 18 de Julio identifica una población residente de 82.693 personas, equivalente al 23,67% de la población total relevada en las áreas de influencia de los corredores analizados del sistema metropolitano. Como se observa en el mapa, la distribución de las densidades habitacionales presenta valores elevados, predominantemente entre 263 y 748 hab/ha, lo que confirma la consolidación de este sector como el principal polo generador de viajes de la ciudad y el núcleo donde la demanda potencial de movilidad alcanza sus mayores niveles.

Con el propósito de dimensionar la carga operativa que soporta este eje, la Ilustración 7 presenta la red de líneas (en rojo) exclusivamente urbanas de Montevideo que transitan o atraviesan esta arteria. A partir de este análisis se identificaron 68 líneas, clasificadas según su patrón de operación en el corredor como recorridos longitudinales, de uso parcial y de cruce transversal.

A diferencia de los ejes metropolitanos evaluados anteriormente, que presentan una mezcla de demanda suburbana, el análisis de la Avenida 18 de Julio revela un escenario cien por ciento urbano donde la mitad de la oferta (50%, es decir, 34 líneas en un área de influencia de 500 m) se dedica exclusivamente a cruzar el corredor. Este fenómeno de intersección ortogonal resulta aquí mucho más crítico, ya que cada ómnibus que atraviesa la avenida suma tiempos de espera y fricción en cruces semaforizados, lo que penaliza la fluidez del tránsito general en la zona de mayor densidad de la ciudad.

Ilustración 7. Cobertura de líneas en un área de influencia de 500 m: Avenida 18 de Julio



Elaboración propia

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:** 3,4 kilómetros entre Tres Cruces y Plaza Independencia
- **Secciones tipo:**
 - o 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, cuando se analiza la sección vial actual, el espacio disponible oscila entre los 14 y 16m.
 - o Dos o tres carriles de circulación para tránsito general por sentido
 - o Aceras con paradas de transporte público
 - o Ciclovía central bidireccional entre Tres Cruces y Campo Quijano/ Yi.
- **Intersecciones**
 - o 31 intersecciones, todas ellas regulados por semáforo
 - o 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.
 - o 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**
 - o **Cantidad de Líneas:** 27 líneas urbanas. Confluencia principal de los corredores Avenida 8 de Octubre / Camino Maldonado y Avenida Italia / Giannattassio.
 - o **Distancia entre paradas:** 410 m actuales
 - o **Cantidad máxima de servicios hora pico:** 117 frecuencias por hora.
 - o **Velocidades:** 11 - 13 km/h en hora pico.
 - o **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.



2.5 Síntesis del programa y red de corredores metropolitanos

A partir de la caracterización integral del sistema de transporte del Área Metropolitana de Montevideo, se evidencia que la sostenida disminución de la demanda de pasajeros y la pérdida de competitividad frente al vehículo particular, caracterizadas como fenómenos que degradaron las velocidades comerciales a rangos críticos de 15 a 16 km/h e incrementaron el impacto ambiental, exigen una transformación estructural capaz de superar las medidas aisladas de priorización implementadas en el pasado. En este contexto, los ejes Corredor Av. 8 de Octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8 y A Corredor Av. Italia – Av. Giannattasio, junto con su convergencia natural en la Avenida 18 de Julio hacia la Ciudad Vieja, se consolidan como los corredores primarios para revertir este declive.

Para consolidar el diagnóstico de esta infraestructura y dimensionar el respectivo desafío espacial, resulta fundamental considerar la magnitud física y poblacional subyacente al proyecto, cuya dimensión territorial correspondiente a la red de corredores se encuentra expuesta en la siguiente tabla.

Tabla 1. Síntesis territorial y de infraestructura de los corredores

Eje Troncal	Extensión	Población (Área de influencia 500m)	Total de Intersecciones
Corredor Av. 8 de Octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8	15 km	120.649	90
Corredor Av. Italia – Av. Giannattasio	28,3 km	146.059	72
Av. 18 de Julio	3,4 km	82.693	31

Fuente. Elaboración propia



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 establecidas 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 distintas 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.

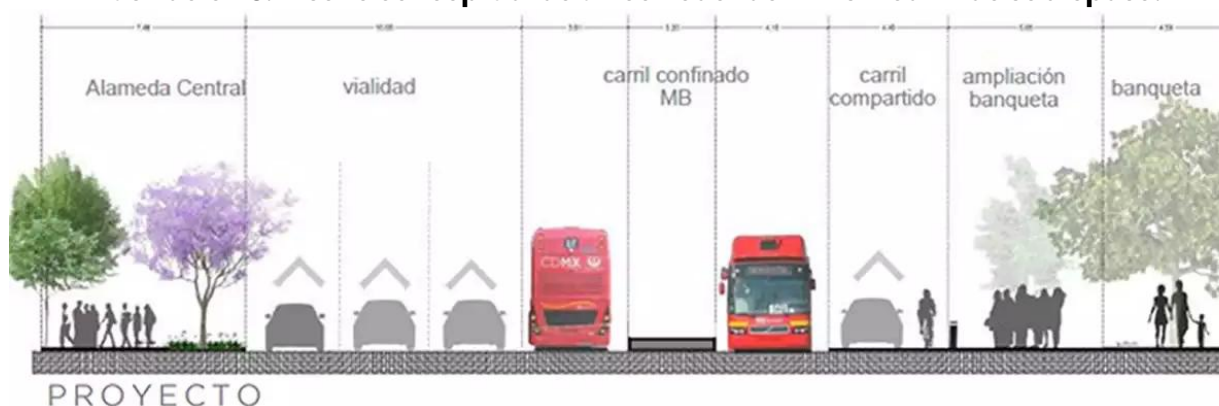
Sección transversal: Un corredor estándar (un carril por sentido más la estación central) demanda una sección transversal exclusiva de entre 10 a 11 m de ancho (sin contabilizar



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 8. 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

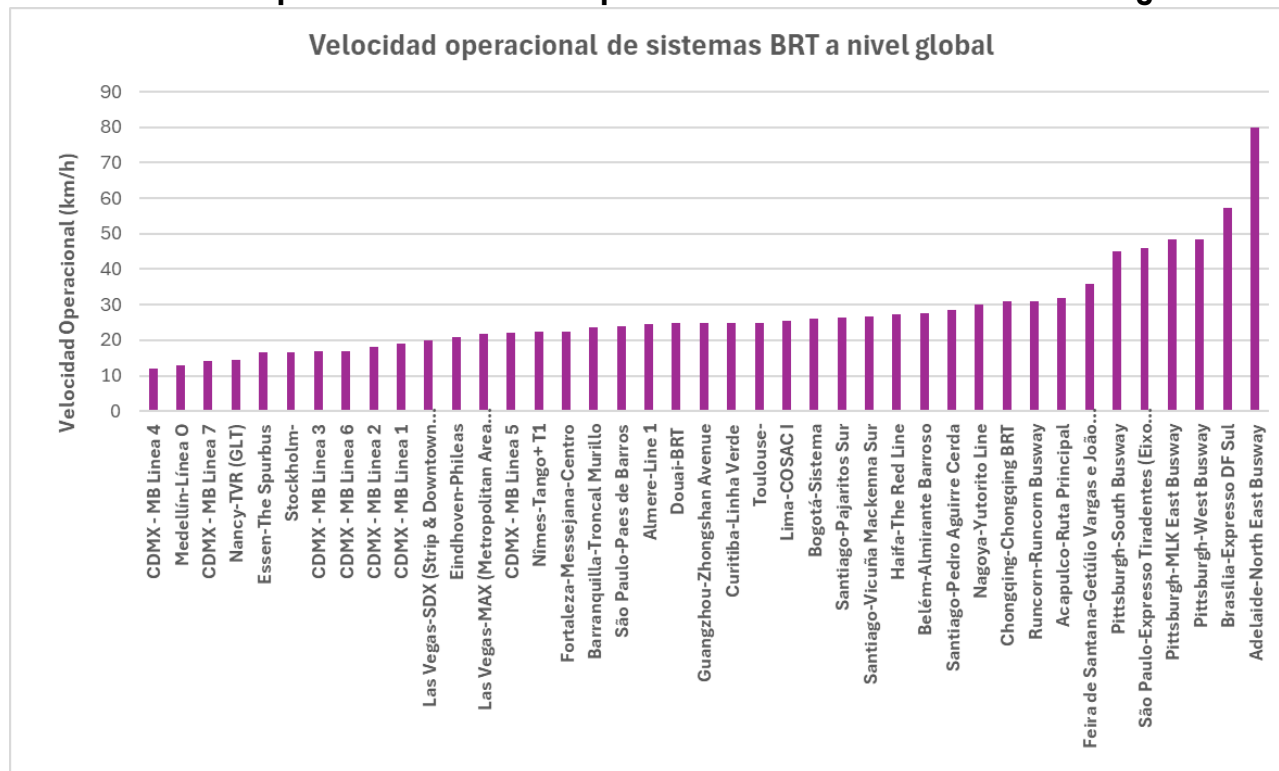
Velocidad operacional: La velocidad promedio (contabilizando las demoras en estaciones y semáforos) se presenta dentro de un amplio rango en los resultados debido a la variabilidad de condiciones de infraestructura y operación bajo las cuales han sido implementados los diferentes sistemas BRT al rededor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

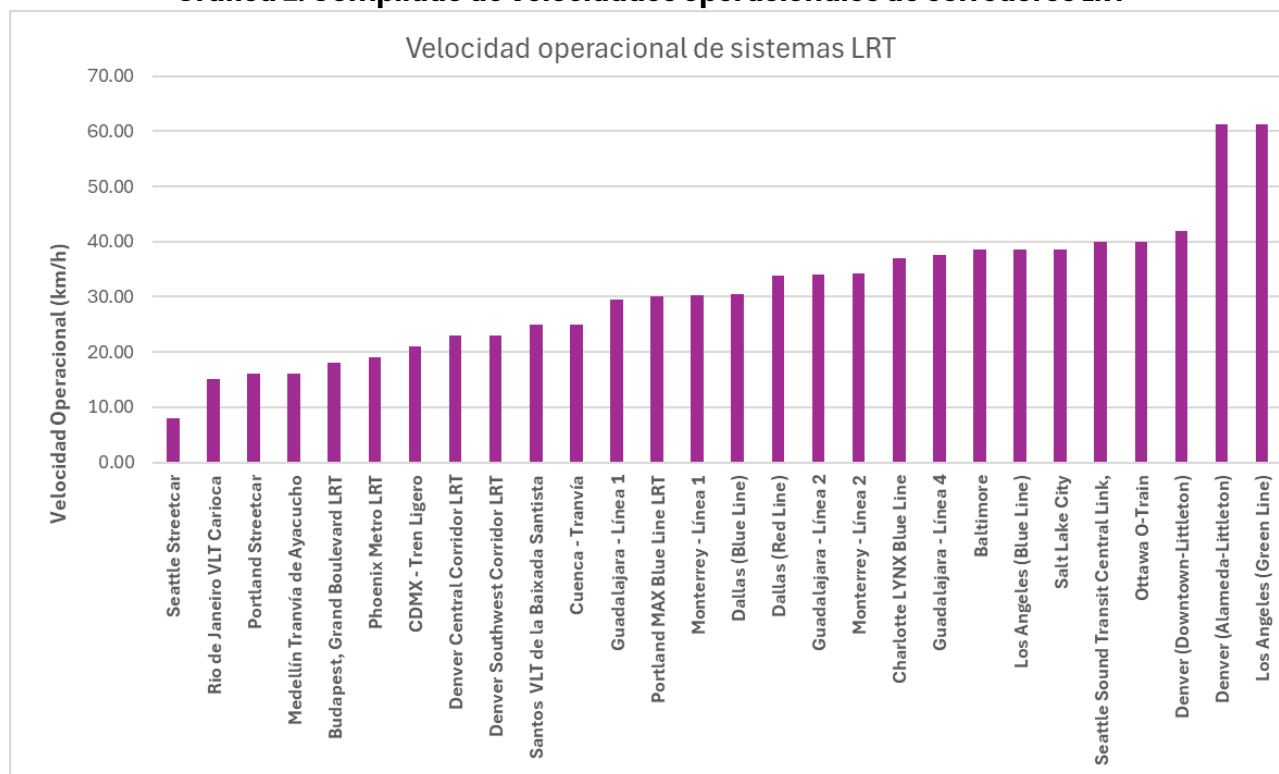
Velocidad operacional: Aunque los trenes tienen capacidad de alcanzar velocidades de hasta 70 km/h, las condiciones de vía y entorno en las que se implementen estos sistemas, sus velocidades comerciales tienden a ser significativamente menores y variables. En sistemas de superficie, la velocidad comercial 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 sistemas LRT suelen requerir entre 5 y 8 años desde la planificación hasta su puesta en operación. Este plazo incluye etapas de estudios y estructuración financiera de entre 3 y 5 años, seguidas por procesos constructivos de entre 2 y 4 años asociados a la instalación de infraestructura ferroviaria, electrificación y reubicación de servicios urbanos. La duración de estos proyectos frecuentemente excede el ciclo de una sola administración pública, aumentando los requerimientos de continuidad institucional y coordinación intergubernamental (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 (Sprigbett, 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.

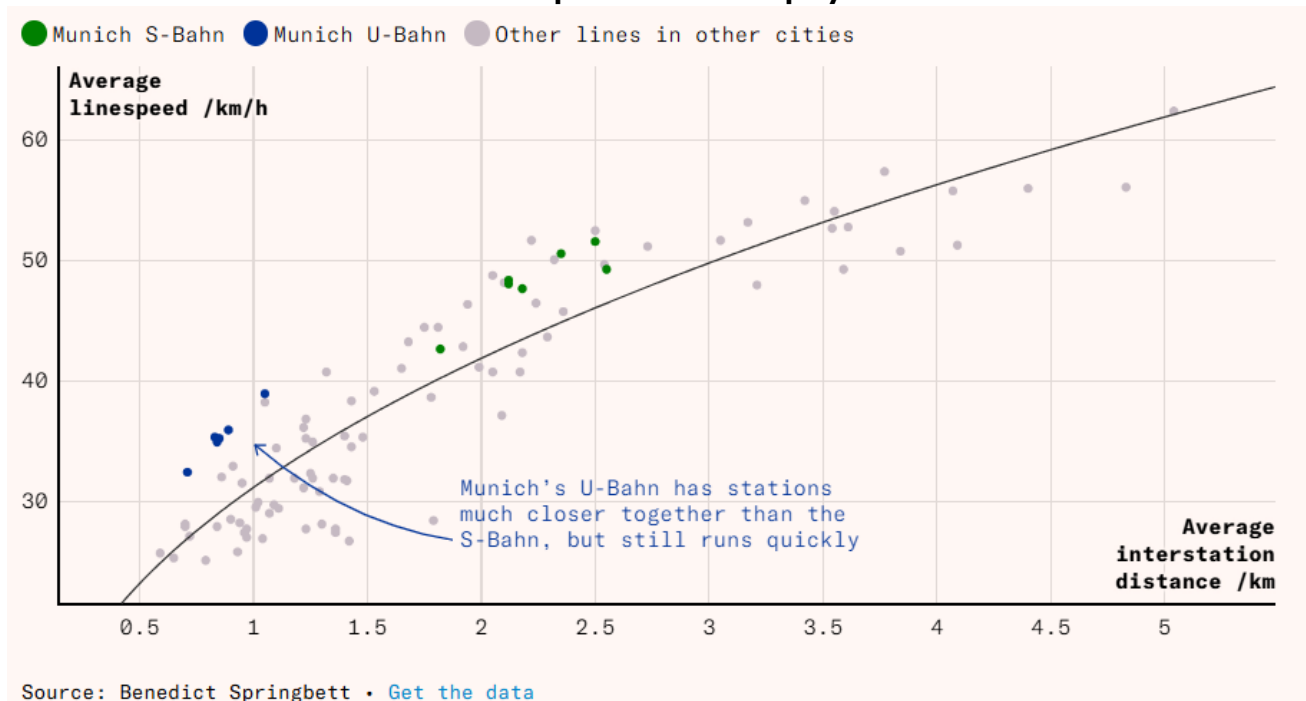
3.3.3. Parámetros operativos

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.

3.3.4. 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 sistemas de metro presentan los mayores horizontes de desarrollo entre las tecnologías analizadas, con plazos típicos de entre 6 y 10 años desde la planificación hasta la puesta en operación. Estos periodos suelen comprender entre 3 y 5 años de estudios, diseño y estructuración financiera, seguidos por entre 3 y 5 años de construcción asociados a la ejecución de túneles, estaciones, viaductos y sistemas electromecánicos de alta complejidad. Debido a su escala de inversión y requerimientos técnicos, estos proyectos suelen demandar esquemas de gestión y financiamiento capaces de sostenerse más allá de los ciclos administrativos convencionales (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 generales 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.

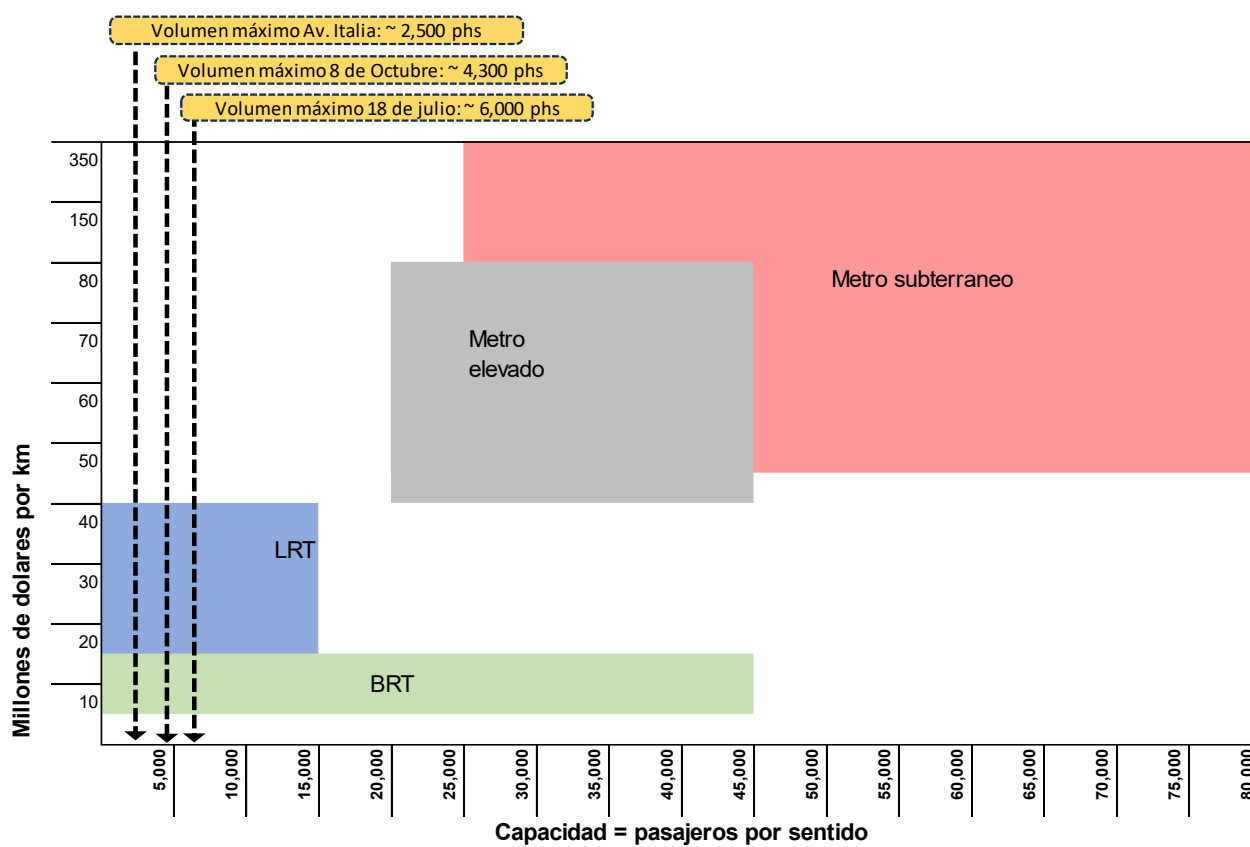
Esta caracterización conceptual constituye la base para el análisis comparativo estructurado que se desarrolla en los apartados siguientes, en los que se profundiza en criterios técnicos, operativos y económicos.

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 simplificado con el objetivo de establecer situaciones comparables de capacidad y nivel de servicio entre las alternativas, 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

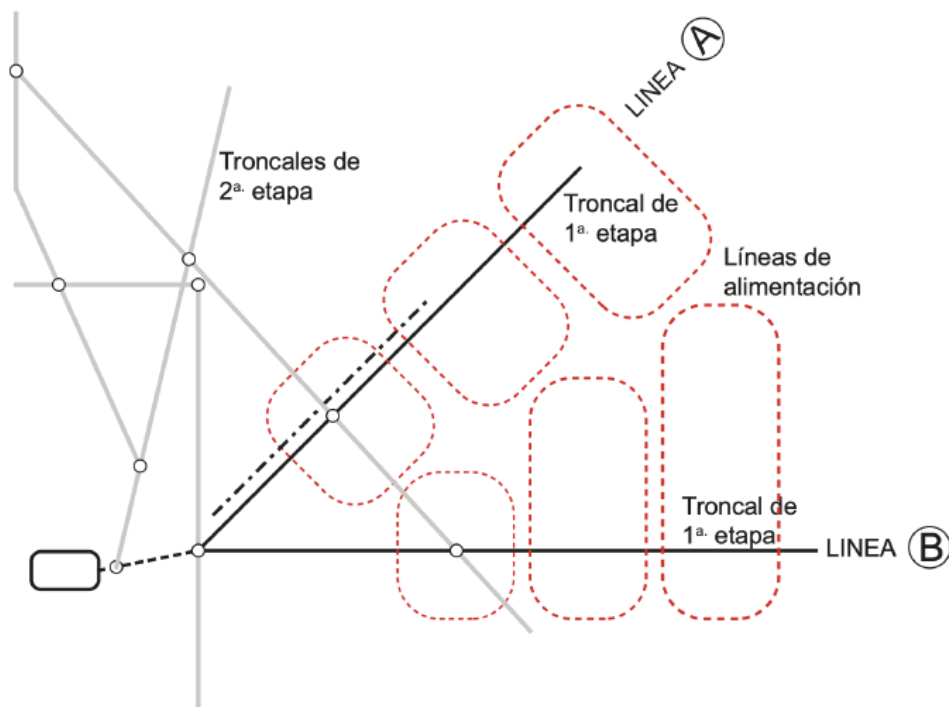
Como se ha señalado previamente, la red de corredores correspondiente a la primera etapa del PTTMM está conformada por dos ejes metropolitanos que conectan la periferia del AMM con el área central (8 de Octubre – Camino Maldonado y Av. Italia – Giannattasio) los cuales confluyen en el corredor 18 de 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, 32 estaciones.

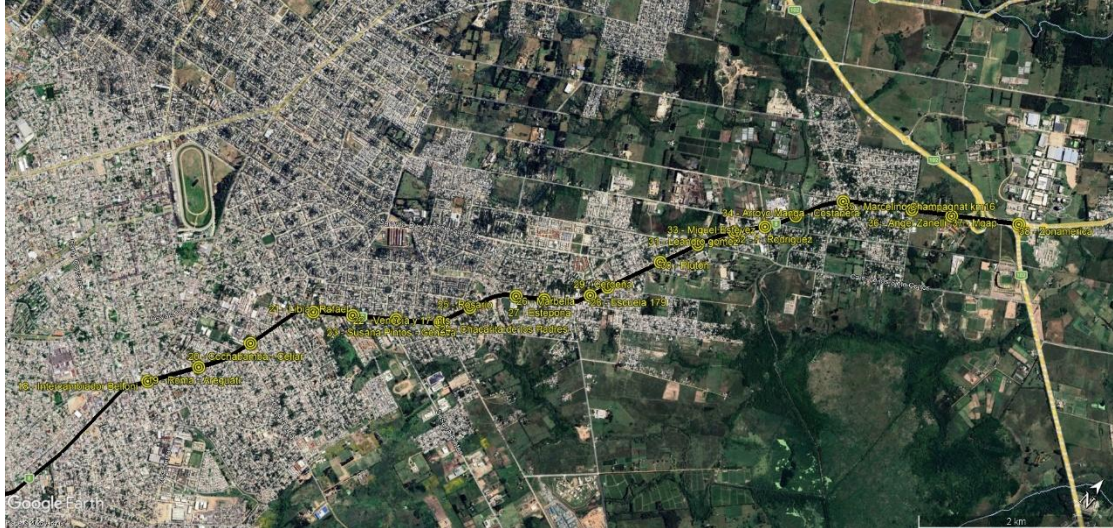
Características relevantes:

- 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 9. Corredor Camino Maldonado y Ruta 8: Zonamerica – Intercambiador Belloni



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth

Ilustración 10. 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,

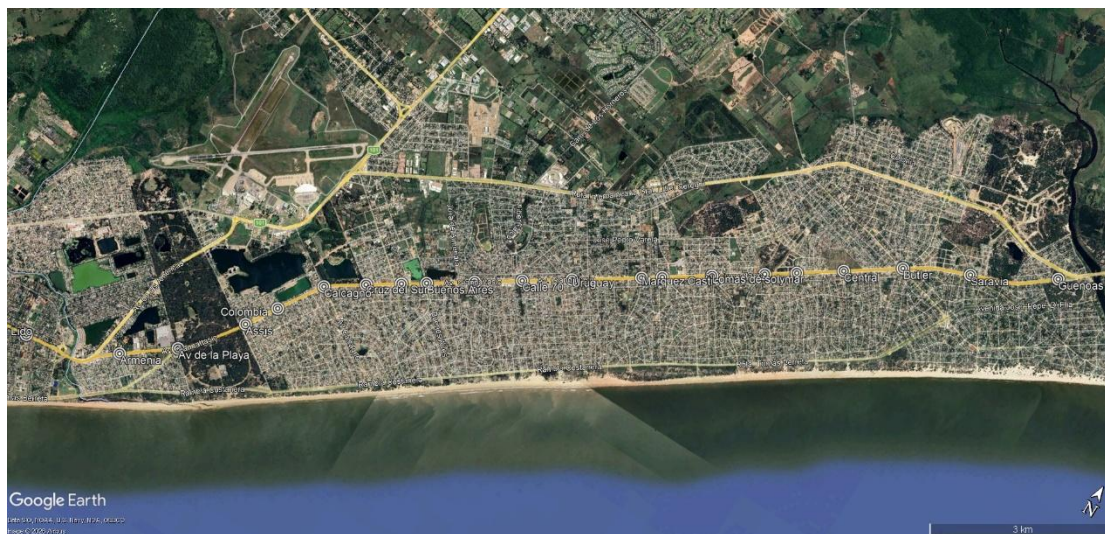
Tramos viales: Av. Giannattasio y Av. Italia

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

Características:

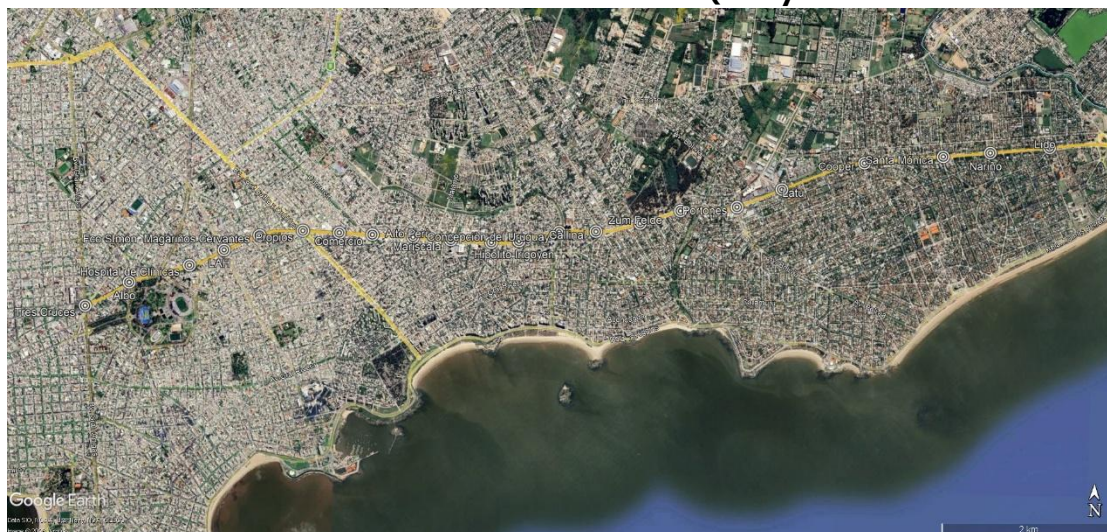
- Distancia entre intersecciones mayor que 300 m, semaforizadas. Existe un paso a desnivel en el cruce con Av. Centenario para priorizar el tránsito sobre Av. Italia.
- Corredor con mayor sección disponible, en algunos tramos con camellón central con capacidad de alojar, ciclovía y estaciones.
- Menor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

Ilustración 11. Corredor Giannattasio: El Pinar – Barra de Carrasco



Elaboración propia, con imagen obtenida de Google Earth

Ilustración 12. 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 13. 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 14. 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 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 del 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. Dimensionamiento operacional de las alternativas

El dimensionamiento de los servicios de cada alternativa se realizó con base en una serie de premisas de diseño operativo que resulten en situaciones comparables para efecto de la presente evaluación. A seguir, se describen las principales premisas:

- **Servicios:** en todos los escenarios (Metro, Tren Ligero y BRT), para establecer situaciones comparables y equivalentes entre las distintas alternativas, se consideró siempre un servicio o ruta troncal operando de punta a punta en cada uno de los dos corredores, desde el terminal en el extremo periférico hasta el centro de Montevideo llegando a Plaza Independencia, es decir:

- Troncal 1 (corredor Av 8 de Octubre – Cno. Maldonado): Zonamerica – Andes/Convención.
- Troncal 2 (corredor Av Italia Giannattasio): El Pinar – Andes/Convención.

Cabe destacar que esos dos servicios convergen en un mismo corredor troncal común en el tramo de 3,4 km a lo largo de la Av. 18 de Julio, en el cual operan de forma integrada, intercalando las frecuencias, que circulan sobre la misma infraestructura (rieles o carriles confinados) y paran en las mismas estaciones.

- **Frecuencia de servicio:** los intervalos de paso de cada alternativa fueron dimensionados de manera a ofrecer la capacidad total necesaria del sistema. Los tramos críticos para la hora pico mañana corresponden a una demanda de 4300 phs (pasajeros por hora por sentido) en el corredor de la Av. 8 de Octubre y a 2500 phs en el corredor de Av. Italia. La oferta combinada por ambos servicios en el tramo común de la Av. 18 de Julio atiende a la carga de esa parte del sistema. Para cada modo de transporte, los intervalos fueron dimensionados en función de la capacidad de diseño de los respectivos vehículos.
- **Capacidad nominal y de diseño de los vehículos:** la capacidad de diseño de los vehículos adoptada para el dimensionamiento consideró un factor de ocupación máximo de 90% de la capacidad nominal. Es decir, la frecuencia se calculó para ofrecer una capacidad total por hora por sentido de un máximo de 90% en el tramo crítico de la hora crítica del sistema.
- **Tiempos de recorrido:** los tiempos totales de recorrido para cada alternativa en cada tramo de los corredores se calcularon a partir de las extensiones y de



parámetros de velocidad comercial compatibles con las condiciones físicas y operativas de las respectivas configuraciones viales (mostrados en las tablas abajo). Los tiempos de ciclo se estimaron considerando un tiempo adicional en terminal de 5% sobre el tiempo de recorrido total de ida y vuelta.

- **Flota operativa:** la cantidad de unidades de cada uno de los dos servicios, para cada alternativa, se calculó a partir de los respectivos intervalos de diseño y tiempos de recorrido totales, mostrados en las tablas a seguir.

La Tabla 2 presenta las principales características de cada tramo de los corredores analizados, y las Tablas Tabla 3 Tabla 4 Tabla 5, muestran los parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo.



Tabla 2. Resumen de características de cada tramo

Corredor		Tramo (inicio – fin)		Extensión	Número de estaciones	Distancia entre estaciones	Carga de pasajeros (phs)	Cruces vehiculares o peatonales	Distancia entre intersecciones
Troncal común 18 de Julio	1	Andes – Convención	Tres Cruces	3.378,88	6	563	6.800	31	109
Corredor 8 de Octubre	2a	Tres Cruces	Intercambiador Belloni	6.188,37	12	516	4.300	44	141
	2b	Intercambiador Belloni	Escuela 179	4.433,45	10	443	3.000	46	192
	2c	Escuela 179	Zonamerica	4.382,57	10	438	2.000		
Corredor Italia	3ª	Tres Cruces	Portones (Bolivia)	8.264,58	17	486	2.500	43	303
	3b	Portones (Bolivia)	Lido	4.753,82	5	951	1.800	29	528
	3c	Lido	Guenoas (El Pinar)	15.318,20	20	766	1.000		

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3. Parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo para la alternativa BRT.

Corredor	Tramo	Extensión corredor (km)	Infraestructura	Freq requerida por tramo	Freq diseño corredor	Intervalo de paso (min)	Flota
Troncal Común 18 de Julio	1	-	A nivel	34	34	1,7	-
Corredor 8 de Octubre	2a	18,4	A nivel	22	22	2,8	49
	2b		A nivel	15		2,8	
	2c		A nivel	10		2,8	
Corredor Italia	3a	31,7	A nivel	13	13	4,8	44
	3b		A nivel	9		4,8	
	3c		A nivel	5		4,8	
Flota operacional		50,1					93

*Fuente. Elaboración propia***Tabla 4. Parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo para la alternativa Tren Ligero.**

Corredor	Tramo	Extensión corredor (km)	Infraestructura	Freq requerida por tramo	Freq diseño corredor	Intervalo de paso (min)	Flota
Troncal Común 18 de Julio	1	3,3	A nivel	25	25	2,3	-
Corredor 8 de Octubre	2a	15,0	A nivel	16	16	3,6	36
	2b		A nivel	11		3,6	
	2c		A nivel	7		3,6	
Corredor Italia	3a	28,3	A nivel	9	9	6,3	32
	3b		A nivel	7		6,3	
	3c		A nivel	4		6,3	
Flota operacional		46,7					68

Fuente. Elaboración propia

Tabla 5. Parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo para la alternativa Metro.

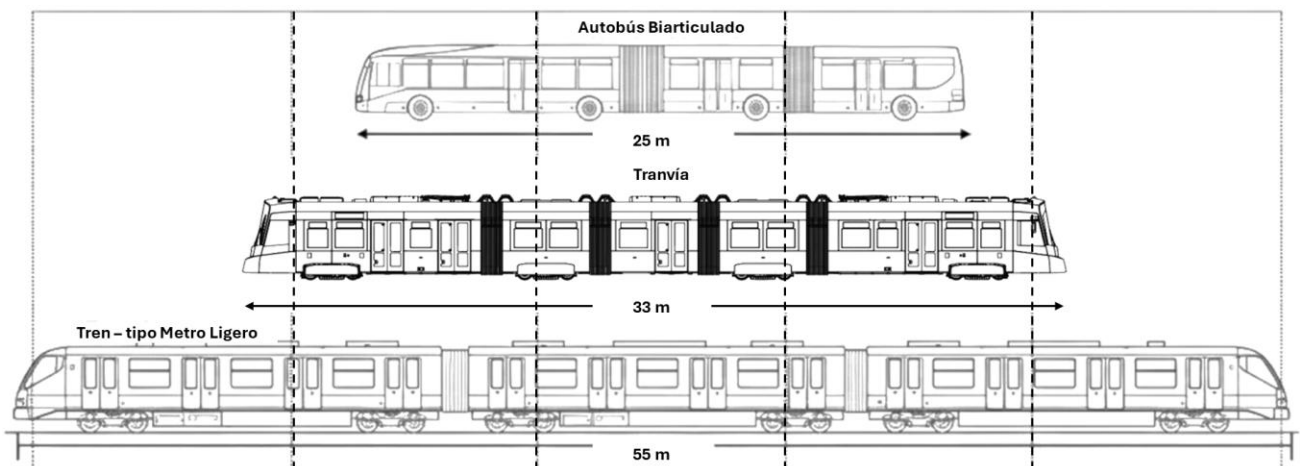
Corredor	Tramo	Extensión corredor (km)	Infraestructura	Freq requerida por tramo	Freq diseño corredor	Intervalo de paso (min)	Flota
Troncal Comun 18 de Julio	1	3,3	Soterrado	13	13	4,8	-
Corredor 8 de Octubre	2a	15,0	Soterrado	8	8	7,5	10
	2b		Soterrado	6		7,5	
	2c		Soterrado	4		7,5	
Corredor Italia	3a	28,3	Soterrado	5	5	13	10
	3b		Soterrado	3		13	
	3c		Soterrado	2		13	
Flota operacional		46,7					20

Fuente. Elaboración propia

4.4. 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 15. 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 6. 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)	6.800	4.300	2.500
BRT			
Material rodante	Biarticulado 25m – 220 pasajeros		
Frecuencia de paso requerida	36	23	13
Intervalo de paso (min)	1,7	2,8	4,8
Tranvía / Tren Ligero			
Material rodante	Tram 5 módulos 33 m – 290 pasajeros		
Frecuencia de paso requerida	28	17	10
Intervalo de paso (min)	2,3	3,6	6,3
Metro Ligero			
Material rodante	Tren 3 vagones 55m – 600 pasajeros		
Frecuencia de paso requerida	13	8	5
Intervalo de paso (min)	4,8	7,5	13

Fuente. Elaboración propia



Tabla 7. 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
Pacios 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 8 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 8. 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 9 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 8).

Tabla 9. 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 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
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
+ 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



Evaluación de requerimiento de sección vial	8 de octubre – Cno. Maldonado	Av. Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
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): 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 10 presenta el análisis de los requerimientos de infraestructura para cada criterio, asociados a las alternativas modales, en tanto que la Tabla 11 presenta el análisis de los criterios de requerimientos de infraestructura complementaria o de soporte. En la Tabla 12 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 10. Análisis de criterios de requerimientos de infraestructura del corredor



Infraestructura requerida en el corredor	BRT	LRT	Metro
Segregación física e infraestructura de vía	Medio. Preferiblemente carriles centrales exclusivos con separadores físicos (bordillos, bolardos). 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
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.		



Infraestructura requerida en el corredor	BRT	LRT	Metro
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 11. 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.
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.



Infraestructura complementaria		BRT	LRT	Metro
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 12. 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 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 segregada (a desnivel)		Elevado – Se conjugan requerimientos de obra civil y electromecánica de sistemas férreos.
Metro Ligerio – Tren 3 vagones 55m		
Solución totalmente 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.

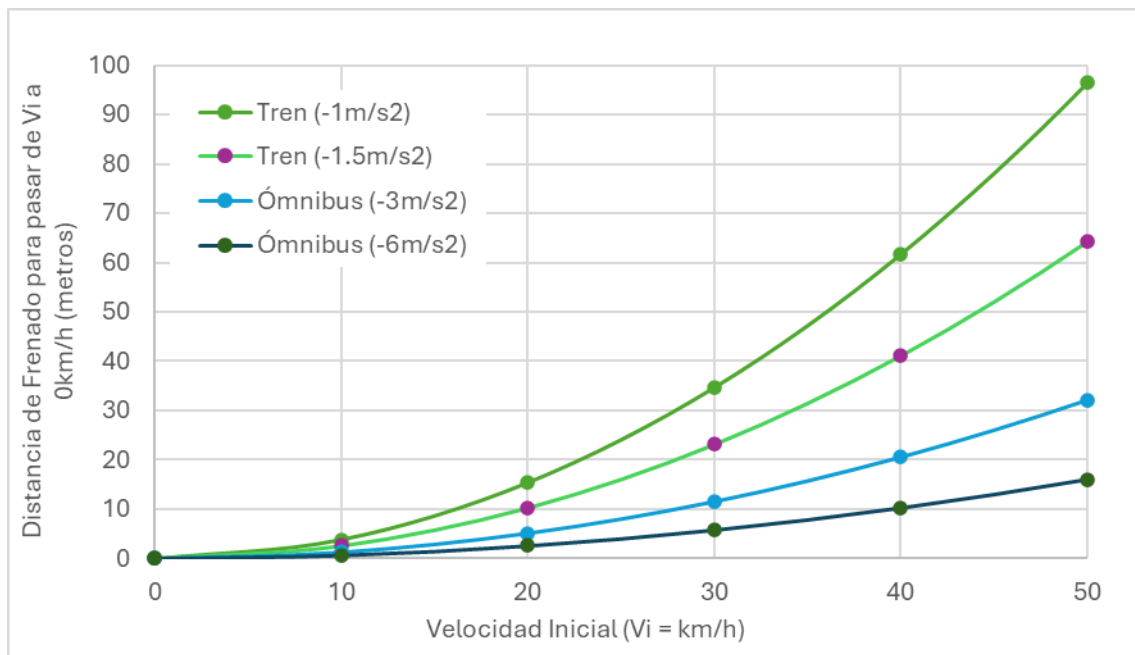
Los resultados presentados en la Tabla 13, permiten observar las diferencias operacionales entre modos, que determinan las distancias de frenado en condiciones de frenado de emergencia para sistemas tipo tren (LRT/Metro) y ómnibus (BRT) considerando rangos representativos de desaceleración para cada 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 13. 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 14 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 15 presenta la evaluación de los distintos tipos de segregación (a nivel y soterrada) para cada alternativa en cada tramo de los corredores.

Tabla 14. 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 15. 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.



Impacto en proyecto (velocidad + volumen de obra + riesgos)			
	Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
	Cno. 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	Riesgos de seguridad vial - alto -
Solución totalmente segregada a desnivel			18 de Julio - Medio Velocidad operativa y seguridad vial - Sin impactos. Intervención de intersecciones - Alta
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 -
	Cno. 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			18 de Julio - Medio Velocidad operativa y seguridad vial - Sin impactos. Intervención de intersecciones - Alta
Metro Ligero - Tren 3 vagones 55m			



Impacto en proyecto (velocidad + volumen de obra + riesgos)	Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado Corredor Italia - Giannattasio Troncal Común 18 de Julio
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	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 16 aborda el desempeño de cada alternativa en los distintos nodos especiales y casos particulares de los corredores analizados.

Tabla 16 . 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 17. 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 m		
Distancia de la pendiente para transición (m)	45 m	64 m	112 m
Diferencia vs ómnibus (%)	-	43%	150%

Tabla 18. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores (BRT)

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



Tabla 19. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores (LRT)

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	Bajo - 2 intersecciones - Pendientes de diseño de vía aumentan 42% la distancia sin necesariamente impactos adicionales a nivel técnico.	Medio - 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	



Tabla 20. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores (Metro Ligerio)

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 por soterramiento elimina interferencia	Medio – Pendientes de diseño de vía aumentan 150% veces la distancia de transiciones, con impacto únicamente en intersección soterrada actual.	NA. Premisa de implementación a desnivel elimina interferencia



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 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 apilamiento en las 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 trenes/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 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 trenes/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 Ligero:** 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 anticollision (ATP) una frecuencia de 30 trenes/hora representa una



frecuencia alcanzable, que se estable como frecuencia máxima de diseño para este estudio.

La **Tabla 21** presenta la evaluación de la capacidad nominal de las alternativas de transporte, considerando sus requerimientos.

Tabla 21. 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 ⁵
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 $220 \times 60 \times 0,9$ ⁶ = 11.880 pax.hora.sentido		
Evaluación	64%	79%	43%
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 $290 \times 30 \times 0,9$ ⁵ = 7.830 phs		
Evaluación	45%	68%	13%
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.		

⁵ Para el cálculo de la capacidad estimada, se incorpora el factor de ocupación del 90% como parámetro de dimensionamiento que incorpora holgura cálculo de la oferta ante variaciones del comportamiento oferta demanda.

⁶ 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.



Margen de capacidad de la infraestructura	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio ⁵
Vp = Volumen de pasajeros (phs)	4,300	2,500	6,800
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Requerimiento	Sistema en vía sencilla, con Nivel de Automatización mínimo (GoA)4F4F ⁷ "2"		
Capacidad estimada:	Capacidad vehicular x Frecuencia Máxima Sostenible x Factor de Ocupación 600 x 30 x 0,9 ⁵ = 16.200 phs		
Evaluación	73%	85%	58%
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.		

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 disrupciones 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

⁷ Grade of Automation.



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 22 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 23 describe parámetros clave asociados a condicionantes para la confiabilidad para cada corredor. Y finalmente la Tabla 24 evalúa el nivel de confiabilidad general de cada alternativa en cada corredor según los parámetros analizados.

Tabla 22. 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 23. 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 24. 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 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 segregada a desnivel	Buena. sin intersecciones y baja probabilidad de incidencias		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55 m			
Conducción automatizada con segregación total a desnivel	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 apilamiento 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 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, 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 25 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 25. 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)	2.8	4.8	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)	3.6	6.3	2.3
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)	7.5	13.0	4.8
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 26, Tabla 27 y Tabla 28 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 29 presenta la evaluación de la velocidad comercial esperada en cada situación.

Tabla 26. 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 27. 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: Sprigbett, 2025; ITDP, 2017.



Tabla 28. 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) 5F5F ⁸ + estaciones < 500m

Tabla 29. Evaluación de velocidad comercial esperada en cada corredor

Velocidad comercial esperada	Corredor 8 de 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		

⁸ 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 30 presenta el análisis de los factores clave para la complejidad operacional para cada alternativa modal. La Tabla 31 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 32 presenta la evaluación de la complejidad operacional en cada situación.

Tabla 30. 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 contino 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.
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.



Aspecto Evaluado	BRT	LRT	Metro ligero
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 31. 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.
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 32. 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 33 resume el análisis de factores clave para potenciales cambios en patrones de transbordo, y la Tabla 34 presenta la evaluación para cada corredor.

Tabla 33. 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 34. 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 disrupción 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 disrupción 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 35 muestra el número de líneas que operan en cada corredor y analiza la necesidad de reestructuración de líneas existentes. La Tabla 36 muestra la evaluación de este criterio para cada corredor.

Tabla 35. 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 36 . 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, permiten 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 ajustes de rutas a nivel.



Complejidad del proceso de reestructuración de rutas			
	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
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 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	Muy Alta – Las rutas que no se integren al corredor deberán ser reestructuradas en vialidades paralelas. 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 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.		

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 37 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 37. 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 38 presenta el análisis de la flexibilidad y resiliencia operativa para cada modo de transporte, y la Tabla 39 la evaluación de esos criterios para cada corredor.

Tabla 38. 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 39. Evaluación 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)			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)			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

5.4.1. Introducción

Este capítulo presenta la estimación del Costo Total de Propiedad (*Total Cost of Ownership* o TCO) de las tres alternativas modales analizadas en el estudio. El análisis comienza con una breve descripción metodológica del proceso para comparar de manera integral los recursos requeridos para la inversión, operación y mantenimiento de cada alternativa. Posteriormente, se sistematizan los principales supuestos adoptados, en coherencia con las estimaciones desarrolladas en los apartados anteriores. Finalmente, se incorporan los valores de las variables relevantes y se presentan los resultados del ejercicio.

La primera aproximación consistió en un análisis de “benchmarking” internacional de proyectos recientes de BRT, Tranvía/LRT y Metro desarrollados en América Latina y otras regiones. Este relevamiento resulta útil como guía y referencia de costos. Sin embargo, debe entenderse como orientativo, por lo que, para el análisis principal, se estimó el TCO, como una metodología más robusta y ampliamente utilizada en la literatura especializada. Dicha estimación, presentada en la primera versión de este documento, se incorpora como anexo para consulta y mayor referencia (Anexo 1).

5.4.2. Metodología

5.4.2.1. Aspectos conceptuales

El TCO es un método de evaluación económica que permite comprender todos los costos asociados con la inversión, operación y disposición de un activo o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Más allá de la inversión inicial, el TCO abarca tanto los costos a lo largo de la vida útil de un activo, brindando una visión integral del impacto de una decisión de inversión.

En este sentido, el TCO aplicado a los proyectos de soluciones de transporte del AMM integra en una única métrica los costos de inversión en infraestructura y material rodante, los costos operativos y de mantenimiento, y la disposición final, a lo largo de todo el horizonte de evaluación. Esta metodología permite superar los análisis basados únicamente en el costo de capital y provee una base objetiva para identificar la alternativa con mejores condiciones de costo-eficiencia en el largo plazo, facilitando la toma de decisiones. Los parámetros, supuestos y resultados del modelo se desarrollan en las secciones siguientes.

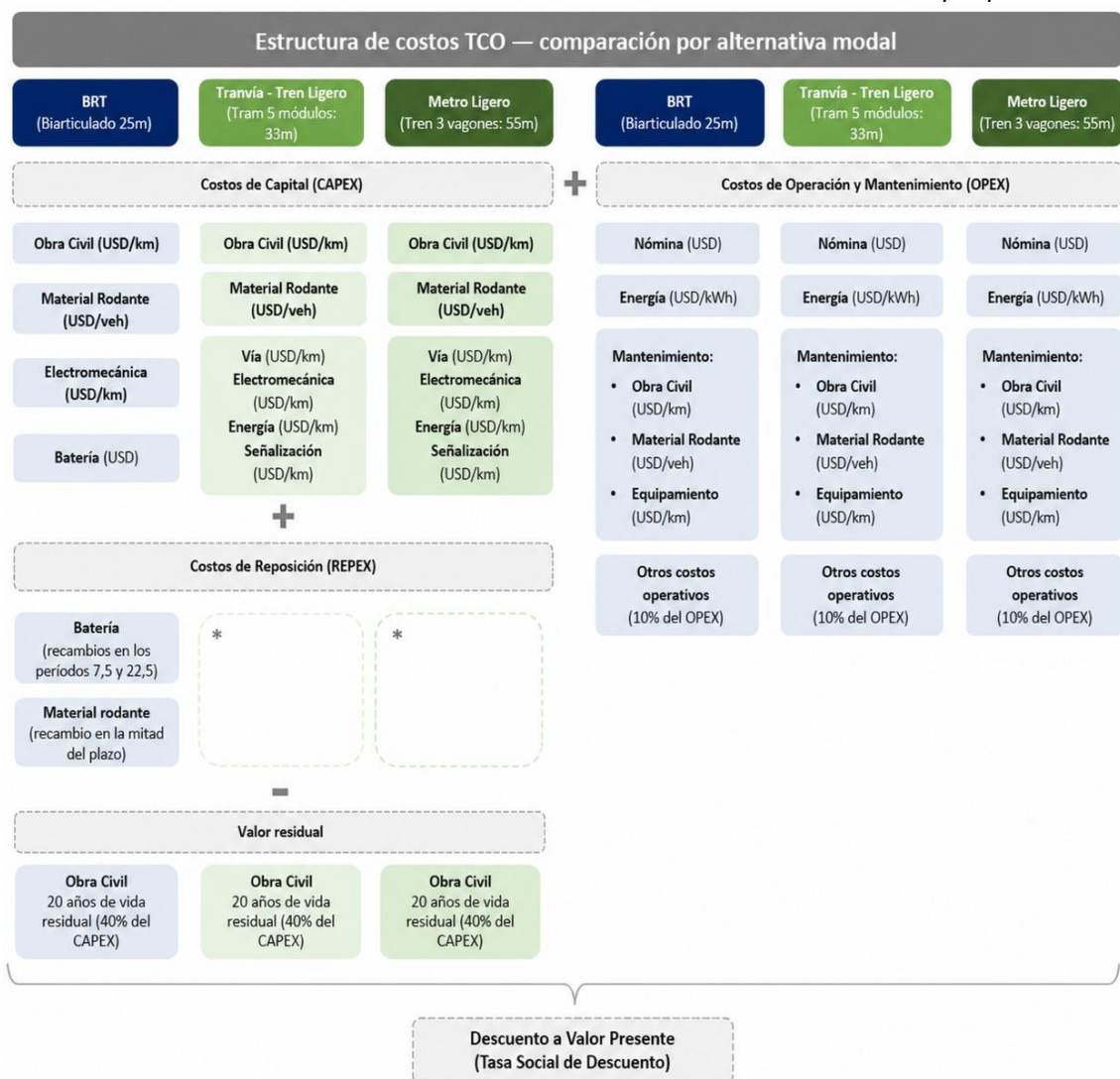


5.4.2.2. Estructura del modelo TCO

La evaluación considera las alternativas BRT, LRT y Metro Ligero, aplicando costos calculados sobre una misma demanda base de referencia. Los costos durante el ciclo de vida del proyecto se estructuran en cuatro componentes: inversión inicial (CAPEX), operación y mantenimiento (OPEX), reposición de activos (REPEX) y valor residual.

El horizonte de análisis contempla 30 años de operación, precedidos por períodos de construcción diferenciados por modo: 2 años para BRT, 3 años para LRT y 5 años para Metro Ligero. Todos los flujos se descuentan a valor presente aplicando una tasa social de descuento del 7,5% anual, expresándose los resultados como Valor Actual Neto (VAN) de costos para cada alternativa. La estructura del modelo y los componentes considerados en cada rubro se presentan con mayor detalle en la ilustración siguiente.

Ilustración 16 – Estructura del modelo TCO (Fuente: elaboración propia)



* El modo no incluye reposiciones mayores en el plazo de evaluación

Como se mencionó anteriormente, se desarrolló un modelo que permite comparar las tres alternativas bajo supuestos homogéneos, realizar análisis de sensibilidad sobre los parámetros clave y trazar de forma transparente el cálculo de cada componente de costo. Los resultados se expresan como Valor Actual Neto (VAN) de costos para cada alternativa.

5.4.1. Alternativas evaluadas

La estimación del TCO requiere la definición de los escenarios y características de las alternativas que para realizar la comparación entre alternativas. En este análisis se consideraron las siguientes características de las alternativas analizadas:

- BRT: Implementado en superficie en los 3 corredores analizados con obras de soterramiento únicamente en nodos críticos (descritos en el capítulo 4.2).
- LRT: Implementado en superficie en los 3 corredores analizados con obras de soterramiento únicamente en nodos críticos (descritos en el capítulo 4.2).
- Metro: Implementado totalmente subterráneo en los 3 corredores analizados.

5.4.2. Supuestos adoptados

La estimación del TCO requiere la definición de un conjunto de supuestos operativos y económico-financieros que permiten homogeneizar la comparación entre alternativas y estructurar los flujos de costos a lo largo del horizonte de evaluación. En las secciones siguientes se presentan los principales parámetros utilizados en el modelo.

5.4.2.1. Horizonte de evaluación

Para asegurar la comparabilidad entre alternativas, se adopta un horizonte común de 30 años de operación. Dado que los plazos de construcción difieren por modo (2 años para BRT, 3 años para LRT y 5 años para Metro), el horizonte total de modelación varía entre alternativas:

- BRT: 2 años de construcción y 30 de operación (2028 – 2059)
- LRT: 3 años de construcción y 30 de operación (2028 – 2060)
- Metro: 5 años de construcción y 30 de operación (2028 – 2062)

En todos los casos, los flujos se descuentan al año base 2028.



5.4.2.2. Parámetros operativos

Los parámetros operativos definen la base de dimensionamiento del sistema y permiten estimar, para cada alternativa, los requerimientos de flota, capacidad, frecuencia, kilómetros recorridos y consumo energético utilizados en el cálculo del TCO.

A. Parámetros generales (comunes a las tres alternativas)

Los siguientes parámetros corresponden a características de los corredores evaluados, comunes a las tres alternativas modales.

Tabla 40. Parámetros operativos de la red

Parámetro	Unidad	Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannatassio	Troncal Común 18 de Julio
Extensión (km)	km	15.004	28.336	3.378
Número de estaciones	estaciones	32	42	6
Distancia entre estaciones (m)	metros	468	674	563
Volumen de pasajeros (phs)	pax/h/sentido	4.300	2.500	6.800

Fuente: estimación propia

B. Parámetros específicos por modo

La tabla siguiente presenta los principales parámetros operativos diferenciados por tecnología, utilizados para el dimensionamiento y cálculo del TCO.

Tabla 41. Parámetros operativos por modo

Parámetro	Unidad	BRT	LRT	Metro
Tipo de infraestructura	-	A nivel	A nivel	Soterrado
Capacidad del vehículo	pax/veh	220	290	600
Flota operativa	veh.	93	68	20
Flota total	veh.	100	74	22
Longitud del vehículo	m	25	33	55
Veh-km anuales	veh-km/año	7.569.841	6.032.419	3.246.748

Fuente: estimación propia

5.4.2.3. Parámetros económico – financieros



Los parámetros económico-financieros definen los supuestos de actualización, monetización y valoración utilizados para estimar y comparar los costos de cada alternativa en términos homogéneos.

A. Supuestos generales adoptados

Los siguientes parámetros transversales aplican de manera uniforme a las tres alternativas modales y determinan el marco económico-financiero de la evaluación.

- Tasa de descuento: 7,5% anual (Tasa Social de Descuento Real), en línea con el valor vigente para el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP).
- Moneda de la evaluación: La evaluación se realiza a precios constantes, expresando los flujos en Unidades Indexadas (UI). A efectos expositivos, los resultados se presentan también en dólares estadounidenses (USD) y en pesos uruguayos (UYU), aplicando los tipos de cambio de referencia indicados a continuación.
- Inflación: la evaluación se realiza a precios constantes. Al expresarse los flujos en unidades indexadas a la inflación no se requiere proyectar una tasa de inflación explícita.
- Tipo de cambio de referencia (Banco Central del Uruguay, valores al 30/4/2026)
 - Tipo de cambio (\$/USD): 40,253
 - Valor UI (\$UY/UI): 6,5231
- Tarifa energética: se aplica la tarifa GC3 de UTE (grandes consumidores, 31,5–63 kV); la estructura de precios por tramo horario y los costos resultantes por modo se detallan en la sección de Costos de operación y mantenimiento.

B. Supuestos específicos por modo

Los siguientes supuestos, diferenciados por alternativa, incluyen las vidas útiles, costos unitarios de inversión y coeficientes de mantenimiento utilizados para estimar los costos asociados a cada modo.

i. Vida útil económica de los componentes

La tabla siguiente recoge las vidas útiles adoptadas para cada tipo de activo. Cuando la vida útil es inferior al horizonte de evaluación, el modelo incorpora la reposición correspondiente; cuando la supera, se reconoce un valor residual proporcional a la vida remanente.



Tabla 42. Vida útil económica de los componentes (años)

	BRT	LRT	Metro
Obra civil	50	50	50
Material Rodante	15	30	30
Equipamiento	30	30	30
Batería	7,5	N/A	N/A

Fuente: estimación propia

ii. Costos unitarios de inversión y mantenimiento

Los supuestos asociados a los costos de inversión y mantenimiento adoptados para cada modo se presentan de forma resumida en la tabla siguiente. Sin embargo, el detalle de su cálculo y premisas adoptadas se presentan de forma detallada en los capítulos siguientes.

Tabla 43. Costos unitarios de inversión y mantenimiento por modo

Parámetro	Unidad	BRT	LRT	Metro
Obra civil	USD / km	8.569.788	11.397.818	76.058.712
Material rodante	USD / vehículo	950.000	5.119.686	9.609.188
Sistema de recarga	% costo flota	13%	-	-
Sistemas ferroviarios	USD / km	-	12.101.069	24.488.030
Equipamiento de estaciones	USD / km	842.383	842.383	1.808.176
Mantenimiento obra civil	% CAPEX Obra Civil / año	0,50%	0,50%	0,50%
Mantenimiento material rodante	% CAPEX Mat. Rodante / año	3,50%	3,50%	3,50%
Mantenimiento equipamiento	% CAPEX Equipamiento / año	1,50%	1,50%	1,50%

Fuente: estimación propia

5.4.3. Costos de inversión inicial (CAPEX)

El CAPEX del modelo se construyó a través de una estimación paramétrica de costos de para las alternativas BRT, Tranvía/LRT y Metro Ligero, estructurada a partir de tres grandes categorías de inversión, seleccionadas por su relevancia y representatividad dentro del costo total de los proyectos:

- Obra civil: comprende la inversión en infraestructura física permanente del corredor.
- Material rodante: incluye la adquisición de los vehículos destinados a la prestación del servicio.
- Equipamiento: comprende los sistemas técnicos requeridos para la operación del modo, estructurado en tres componentes: sistemas ferroviarios, sistema de recarga y equipamiento de estaciones.



La separación explícita de estas categorías resulta particularmente importante para el presente análisis comparativo, ya que cada alternativa presenta estructuras de costo significativamente diferentes. En especial, el material rodante tiene una incidencia mucho mayor en los sistemas ferroviarios tipo metro, debido al elevado costo unitario de los trenes. Sin embargo, en el caso específico de los corredores analizados, el dimensionamiento operativo requerido implica una flota relativamente reducida, configurando un sistema de características más cercanas a un metro ligero que a los grandes sistemas metropolitanos internacionales. Por esta razón, este estudio buscó representar de la mejor manera estos impactos en los CAPEX del proyecto mediante una estimación específica de los costos por concepto.

A continuación, se describe de forma general la metodología adoptada para la estimación de los costos de implementación, acompañándose del detalle de fuentes y tablas explicativas aplicables, en cada caso.

Obras civiles

Para la estimación de las obras civiles se utilizó como punto de partida el anteproyecto y presupuesto desarrollado por la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (FADU) en 2025, el cual constituye la referencia más detallada actualmente disponible para los corredores analizados. Este trabajo incorpora un nivel de desarrollo suficiente para identificar conceptos constructivos, cantidades de obra y costos asociados a la implementación de la infraestructura troncal propuesta.

Para este concepto, se clasificaron los rubros incluidos en el presupuesto original, separando aquellos conceptos estrictamente asociados a obras civiles de otros componentes que corresponden a equipamiento de estaciones, sistemas operacionales o instalaciones especializadas. Posteriormente, los costos fueron agrupados y parametrizados en función de la longitud del corredor, obteniéndose indicadores de inversión expresados en dólares por kilómetro.



Tabla 44. Costos de obra civil de PTM en la alternativa BRT

Concepto	18 de Julio / Ciudad Vieja / Tres Cruces	8 de Octubre – Cno. Maldonado	Av. Italia – Giannattasio
Obra Civil y de entorno			
Obras viales relacionadas a LAF	18.223.524	36.773.092	58.380.921
Jardines de absorción y drenaje/saneamiento relacionado a LAF	795.994	1.404.126	1.088.796
Obras subterráneas relacionadas a LAF	67.701.178 (únicamente nodo e intercambiador Tres Truces)	23.361.455	47.439.121
Demoliciones, sistemas tecnológicos e interferencias relacionadas a LAF	6.677.909	7.565.777	12.487.704
Obras no relacionadas con LAF	24.811.822	33.351.253	60.316.712
Subtotal	118.210.427	102.455.703	179.713.254
Km de corredor	4,1	14,3	28,3
Costo / km por corredor	28.831.811	7.173.127.03	6.342.088
Costo / km global del proyecto BRT	8.569.788		

Elaboración propia con base en FADU, 2025

Para las alternativas LRT y Metro se utilizó como base la estimación de obra civil desarrollada para la alternativa BRT, incorporando posteriormente ajustes específicos para reflejar las mayores requerimientos de infraestructura que son necesarios para soportar la instalación de sistemas ferroviarios, es decir, los cuartos técnicos, canalizaciones subterráneas, construcción de bancos de ductos, entre otros trabajos de obra civil adicional. Al respecto de las características específicas de los sistemas ferroviarios, éstas se describen el subconcepto “sistemas Ferroviarios” considerados éste apartado de “Costos de inversión inicial”.

En el caso de la alternativa LRT, la configuración general del proyecto mantiene una lógica similar a la del BRT. No obstante, la implementación de un sistema LRT requiere obras civiles adicionales respecto a un sistema BRT. Entre los principales factores se encuentran las mayores dimensiones de los vehículos, que impactan en el diseño de estaciones, andenes y zonas de estacionamiento; los mayores requerimientos de gálibo en túneles y corredores segregados; la necesidad de infraestructura especializada para retornos y maniobras operacionales; mayores radios mínimos de curvatura y restricciones geométricas; así como la construcción de edificios y bancos de ductos para subestaciones eléctricas y cuartos “técnicos” al interior o fuera de las estaciones en edificios especiales (espacios construidos para la instalación de equipos de ventilación,



protección contra incendios, energía, señalización y telecomunicaciones). Considerando estos elementos, se aplicó un factor de indexación del 33% sobre los costos de obra civil obtenidos para el BRT, con el propósito de representar los requerimientos de espacios, estructuras y volúmenes de obra civil adicionales asociados a las tecnologías ferroviarias.

Para la alternativa Metro, se asumió una implementación completamente segregada del entorno vial y peatonal, condición inherente a este tipo de sistemas. En consecuencia, se adoptó como referencia el costo paramétrico estimado en el escenario descartado del tramo soterrado de 18 de Julio – Ciudad Vieja – Tres Cruces pero para la totalidad del corredor, bajo el supuesto de que la infraestructura debería desarrollarse íntegramente mediante túneles y estaciones subterráneas. Adicionalmente, al igual que en el caso del LRT, se incorporó un incremento del 33% para reflejar las mayores dimensiones estructurales requeridas por los trenes, los espacios de evacuación, ventilación, seguridad, instalaciones electromecánicas y demás elementos característicos de una infraestructura metro de alta capacidad.

Tabla 45. Costos por kilómetro de obra civil, estimados para el estudio

Alternativa	Costo / km de Obra Civil [USD]
BRT	8.569.788
LRT	11.397.818
Metro Ligero	76.058.712

Elaboración propia con base en FADU, 2025

Posteriormente, estos costos unitarios fueron multiplicados por las longitudes de los corredores del proyecto.

Material rodante

La estimación del material rodante se realizó mediante la recopilación y análisis de referencias internacionales recientes para cada tipo de vehículo considerado. Se analizaron costos de adquisición de unidades nuevas en proyectos comparables y contratos de suministro recientes, actualizando los valores a dólares corrientes mediante índices de inflación, sin incorporar ajustes adicionales.

Tabla 46. Panorama de costos de material rodante (valores actualizados a 2024)

Concepto	Modo	USD / veh. eq. (2024)
Costos paramétrico biarticulado eléctrico	Biarticulado	950.000
Athens, Greece (2018)	Tranvía	4.849.686
STE, CDMX (2024)	Tranvía	4.499.348



Erfurt, Germany (2021)	Tranvía	5.495.949
Alicante, Spain (2024)	Tranvía	5.633.760
Mexico 2016	Metro	8.812.773
Panamá 2017	Metro	5.213.669
Bogotá 2018	Metro	8.494.444
Mexico 2026	Metro	11.135.238
Mexico 2026	Metro	12.262.006
Toronto 2026	Metro	11.737.000

Elaboración propia, con base en proyectos consultados

Para el caso de la alternativa BRT con ómnibus biarticulados eléctricos, la referencia de costos utilizada proviene de información proporcionada por los principales fabricantes de este tipo de vehículos y fue contrastada mediante la visita técnica realizada a Metrobús de la Ciudad de México, sistema que actualmente se encuentra evaluando unidades biarticuladas eléctricas de distintos proveedores.

En el caso de la alternativa LRT, la investigación consideró tranvías de distintas configuraciones y fabricantes, priorizando aquellas unidades cuyas dimensiones y capacidades son comparables con las propuestas para los corredores analizados (vehículos de entre 33 y 37 metros de longitud y capacidades comprendidas entre 270 y 300).

Para la alternativa Metro, la estimación se basó en información de proyectos recientes que utilizan trenes bajo arquitectura EMU (*Electric Multiple Unit*), configuración predominante en los sistemas ferroviarios urbanos modernos. Dado que las referencias disponibles corresponden a trenes de longitudes y composiciones diversas, fue necesario homologar los costos a la tipología de vehículo considerada en este estudio (trenes de tres coches, aproximadamente 50 metros de longitud y capacidad cercana a 600 pasajeros), principalmente mediante la equivalencia de coches por composición.

Tabla 47. Costos de costos de material rodante estimados para el estudio

Alternativa	Costo / vehículo [USD]
BRT	950.000
LRT	5.119.686
Metro Ligero	9.609.188

Elaboración propia con base en proyectos consultados

Posteriormente, estos costos unitarios fueron multiplicados por los requerimientos de flota obtenidos en el dimensionamiento operacional de cada alternativa.



Equipamientos y sistemas

La tercera categoría corresponde a los equipamientos y sistemas requeridos para la operación de cada alternativa. A diferencia de las obras civiles y del material rodante, esta categoría presenta diferencias importantes entre modos, ya que algunos componentes son exclusivos de determinadas tecnologías y no están presentes en todas las alternativas analizadas. Para efectos de la estimación paramétrica, este grupo fue subdividido en tres rubros principales:

- Equipamiento de estaciones.
- Sistema de recarga eléctrica.
- Sistemas ferroviarios.

Equipamiento de estaciones

La estimación del equipamiento de estaciones siguió una metodología similar a la utilizada para las obras civiles, dado que el anteproyecto desarrollado por FADU (2025) incorpora un nivel de definición suficiente.

Tabla 48. Costos de equipamientos de estación del PTM en la alternativa BRT

Concepto	18 de Julio / Ciudad Vieja / Tres Cruces	8 de Octubre - Cno. Maldonado	Av. Italia - Giannattasio
Equipamiento			
Paradas abiertas y cerradas y estaciones de LAF	6.742.687	23.771.966	36.875.968
Estaciones	7	31	42
Costo medio por estación	963.241	766.838	877.999
Descripción	1 estación subterránea + 6 estaciones a nivel	Estación 55 a nivel	Estación 55 a nivel

Elaboración propia con base en FADU 2025

En el caso de las alternativas BRT y LRT se consideró que la configuración funcional de las estaciones presenta características muy similares. En ambos casos, las estaciones requieren elementos equivalentes de accesibilidad, control de acceso, iluminación, sistemas de información al usuario, elevadores, escaleras, torniquetes, mobiliario urbano, sistemas de seguridad y demás instalaciones auxiliares.

Para la alternativa Metro, en cambio, se adoptó un criterio específico basado en el costo paramétrico observado en las estaciones correspondientes al tramo soterrado considerado en el anteproyecto FADU (2025).



Tabla 49. Costos de equipamiento por estación, utilizados para el estudio.

Alternativa	Costo / estación [USD]
BRT	842.383
LRT	842.383
Metro Ligero	1.808.176

Elaboración propia con base en FADU 2025

Sistema de recarga eléctrica

El sistema de recarga eléctrica constituye un componente específico de la alternativa BRT eléctrica y no tiene equivalencia directa en las alternativas ferroviarias, las cuales incorporan sus requerimientos energéticos dentro de los sistemas ferroviarios. Por esta razón, se desarrolló una estimación específica para este concepto, considerando la infraestructura necesaria para garantizar la operación de la flota propuesta.

La estimación incluye no solamente los cargadores, sino también la totalidad de la infraestructura asociada a la recepción, distribución y gestión de la energía requerida por el sistema. En particular, se consideraron cargadores, sistemas de control y gestión energética, infraestructura eléctrica interna de los patios, subestaciones, acometidas, cableados de baja y media tensión, protecciones eléctricas, obra civil asociada, sistemas de monitoreo y conexión a la red eléctrica.

A partir un dimensionamiento operacional inicial realizado para el proyecto, se estimó una demanda de potencia instalada de 9 MW, equivalente aproximadamente a 50 posiciones de carga de 180 kW, buscando contar con una posición de recarga y cargador por cada 2 ómnibus de la flota. Así mismo, el análisis operacional permitió confirmar que esta capacidad instalada es suficiente para lograr la recarga de los autobuses en el periodo nocturno (escenario más crítico, por el corto tiempo de pernocta de los vehículos) y permitiría una estrategia de recarga sostenible y con holguras suficiente para enfrentar fallas y ajustes en la operación. Si bien el costo de los cargadores representa una fracción relativamente menor de la inversión total, la infraestructura eléctrica asociada constituye el componente predominante del CAPEX de este rubro.

Las referencias de mercado recopiladas indican que el costo unitario de un cargador de estas características se sitúa entre USD 30.000 y USD 50.000 por unidad. Sin embargo, al incorporar los costos de subestaciones, tableros de control de carga, protecciones eléctricas, cableados, conexión al sistema eléctrico, obra civil, sistemas de gestión energética, integración de sistemas y mano de obra, los proyectos analizados presentan costos de implementación del orden de USD 300.000 a USD 350.000 por posición de carga instalada.



Considerando estas referencias y los requerimientos específicos del proyecto, se adoptó como hipótesis de diseño una inversión equivalente al 13% del valor de la flota de autobuses. Este criterio resulta consistente con las experiencias recientes observadas en proyectos de electrificación de flotas urbanas y equivale aproximadamente a USD 250.000 por posición de carga instalada o cerca de USD 125.000 por vehículo incorporado al sistema.

Sistemas ferroviarios

Los sistemas ferroviarios constituyen un componente específico de las alternativas LRT y Metro Ligero, agrupando los elementos necesarios para la circulación, control, suministro de energía de los vehículos ferroviarios, así como sistemas complementarios requeridos para el funcionamiento de estas tecnologías.

A continuación, se presenta una descripción breve de los principales sistemas ferroviarios que son requeridos para la puesta en servicio de cualquier sistema tipo LRT y Metro:

Tabla 50. Componentes de los sistemas ferroviarios

Subsistema	Componente
Sistema de vía:	• Rieles y soldaduras. • Durmientes y fijaciones. • Losa o balasto. • Aparatos de vía (cambios y cruzamientos). • Sistemas de lubricación de rieles. • Sistemas de atenuación de ruido y vibraciones.
Sistemas de energía de tracción	• Alimentadores de media o alta tensión. • Subestaciones de tracción. • Tableros de distribución eléctrica. • Catenaria rígida o flexible, o tercer riel. • Seccionadores y equipos de maniobra. • Cables de retorno de energía en vías. • Sistema de puesta a tierra.
Sistemas de control de trenes	• Señalización ferroviaria ○ Aparatos de vía motorizados y máquinas de cambio. ○ Circuitos de vía o contadores de ejes. ○ Señales ferroviarias.



	○ Balizas ○ Enclavamientos electrónicos. • Sistemas desarrollados específicamente para el control automático de trenes, actualmente agrupados por tecnologías estandarizadas como el CBTC y ERTMS, entre otros: ○ ATP (Automatic Train Protection). ○ ATO (Automatic Train Operation). ○ ATS (Automatic Train Supervision). • Sistemas de control centralizado de trenes CTC (Centralized Traffic Control)
Telecomunicaciones	• Red troncal de fibra óptica. • Gabinetes de telecomunicaciones. • Switches, routers y equipos de direccionamiento IP. • Radiocomunicación tren-tierra. • Telefonía operacional, exigida por el sistema ferroviario.
Sistemas electromecánicos especializados	• Equipamiento de talleres y cocheras • Ventilación y extracción de humos de túneles y estaciones. • Ventilación y climatización de cuartos técnicos. • Sistemas de protección contra incendios. • Sistema SCADA para supervisión de instalaciones.

Elaboración propia

Para ello se analizaron los costos observados en dos proyectos de referencia de metro en América Latina y tres de tren ligero. A partir de la desagregación de sus principales componentes fue posible construir parámetros de costo expresados en dólares por kilómetro de corredor, ajustados posteriormente a valores monetarios actuales.

Este rubro comprende principalmente la infraestructura de vía, los sistemas de energía de alta y baja tensión, sistemas de señalización y control ferroviario, sistemas de conducción automática de trenes, telecomunicaciones, talleres y cocheras, así como diversos sistemas electromecánicos requeridos para la operación segura del sistema, incluyendo ventilación mayor, sistemas de protección contra incendios y otras instalaciones auxiliares.



Pese a la dificultad para encontrar información pública y detallada de estos conceptos, se obtuvieron y desagregaron costos de proyectos ferroviarios, analizando los valores aprobados en contratos o autorizaciones presupuestales con el suficiente nivel de avance o detalle para este fin. Dentro de los proyectos identificados y desagregados, los 3 casos de sistemas LRT y 2 casos de sistemas metros son: Rehabilitación de la Línea 1 del Metro de la CDMX⁹, Línea 1 del Metro de Bogotá¹⁰, VLT Carioca de Rio de Janeiro¹¹, Línea 3¹² y Línea 4¹³ del Tren Ligero de SITEUR, Guadalajara. Estos proyectos se encuentran dentro de los rangos de implementación observados en el benchmarking de proyectos.

El análisis de las referencias consideradas permitió identificar costos paramétricos comprendidos entre USD 20 y USD 28 millones por kilómetro para sistemas tipo Metro. En el caso de los sistemas LRT, presentaron costos correspondientes a estos sistemas en un rango entre USD 8 y USD 16 millones por kilómetro. Esta variación se explica en gran medida debido a que los sistemas LRT pueden implementarse mediante soluciones de menor complejidad técnica y operacional que los sistemas metro, aunque en algunos casos pueden optarse por soluciones tan sofisticadas o del mismo requerimiento técnico. Entre otros factores, los vehículos presentan menores dimensiones y peso por eje, menores requerimientos de potencia instalada, menores exigencias estructurales para la infraestructura de vía y sistemas de electrificación, así como soluciones simplificadas de señalización, control y gestión de la operación en algunos casos.

⁹ Renovación de la Línea 1 de Metro de la Ciudad de México, https://www.metro.cdmx.gob.mx/licitacion_linea1

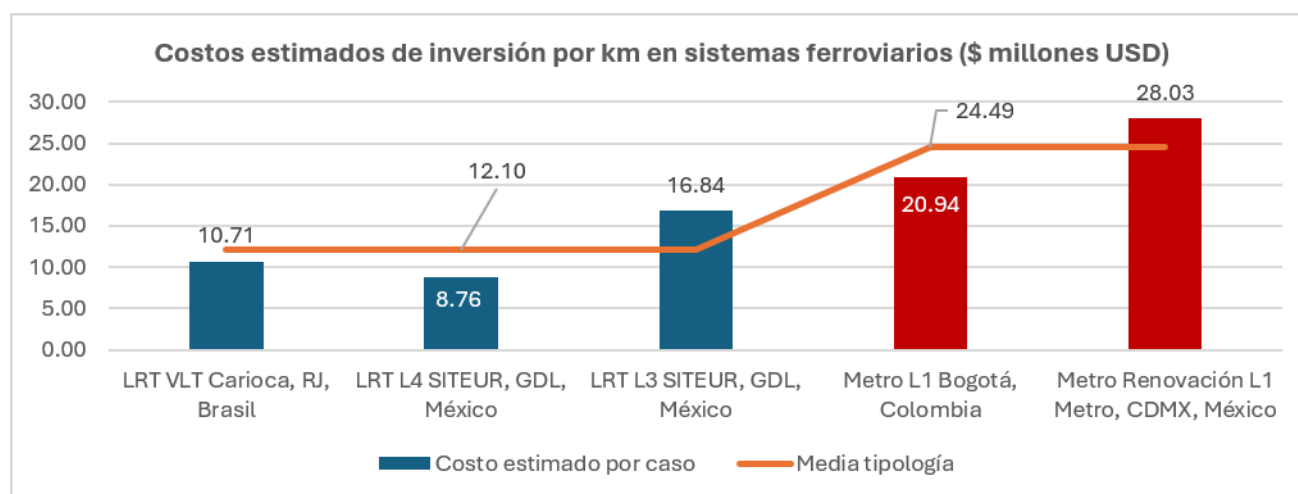
¹⁰ Evaluación de alternativas de implementación de la Línea 1 del Metro de Bogotá, <https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/eias20190612/6.%20ANALISIS%20DE%20ALTERNATIVAS.pdf>

¹¹ VLT Carioca, Rio de Janeiro, <https://www.iese.edu/media/research/pdfs/ST-0467.pdf>

¹² Línea 3 del Tren Ligero de SITEUR, Guadalajara, <https://www.fonadin.gob.mx/fni2/fp32/>

¹³ Línea 4 del Tren Ligero de SITEUR, Guadalajara <https://www.proyectosmexico.gob.mx/wp-content/uploads/2022/09/ACB-L4.pdf>



Gráfica 5. Costos estimados de inversión por km en sistemas ferroviarios

Elaboración propia, con base en información colectada

Con base en la información recopilada, se estimaron costos medios de inversión por kilómetro para cada tipología de sistema ferroviario (LRT y Metro). A partir de este análisis se definieron parámetros de referencia para representar la inversión inicial en sistemas ferroviarios, estimándose valores de **USD 12,1 millones por kilómetro** para proyectos LRT y de **USD 24,5 millones por kilómetro** para proyectos Metro.

Con el propósito de aportar más información para la toma de decisiones, este estudio desarrolló una desagregación indicativa de estos costos por los principales subsistemas ferroviarios (vía, energía de tracción, señalización y control, telecomunicaciones e instalaciones electromecánicas). Esta desagregación tiene como objetivo ilustrar el orden de magnitud de las inversiones requeridas y explicar las principales diferencias tecnológicas y funcionales entre los sistemas LRT y Metro, constituyendo una referencia para el análisis comparativo desarrollado en el presente estudio.

Es importante señalar que estos valores deben entenderse como **parámetros de referencia** para un estudio desarrollado a nivel de perfil y no como presupuestos de ingeniería o costos contractuales. La posibilidad de obtener información pública desagregada por subsistema es limitada, ya que la mayor parte de los proyectos ferroviarios se licitan mediante contratos integrales que no publican el detalle de sus costos. Adicionalmente, los costos de los sistemas ferroviarios presentan una elevada sensibilidad a las condiciones del mercado internacional, particularmente en insumos estratégicos como el acero, el cobre, los equipos electrónicos, los microprocesadores y la logística internacional. Durante la última década, diversos acontecimientos internacionales han demostrado la volatilidad de estos mercados y su capacidad para modificar significativamente los costos de inversión de los proyectos ferroviarios. Entre ellos destacan las interrupciones en las cadenas globales de suministro derivadas de la



pandemia por COVID-19, el conflicto entre Rusia y Ucrania, así como los cambios recientes en las políticas comerciales y arancelarias internacionales. En consecuencia, los valores aquí presentados deben interpretarse como referencias paramétricas obtenidas a partir de la evidencia disponible y empleadas exclusivamente para fines comparativos dentro de la metodología de evaluación de alternativas.

Tabla 51. Costos aproximados por tipología y subsistema

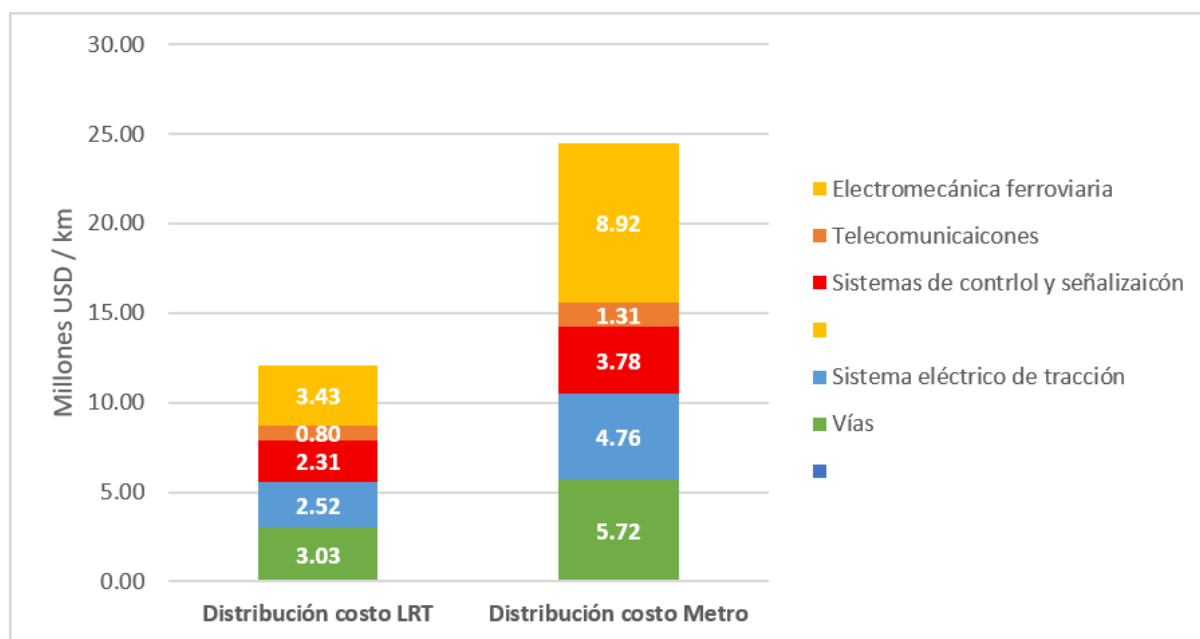
Subsistema	LRT – Tranvía	Metro
Sistema de vía:	Materiales y equipos: ≈ USD 1.5 millones / km Colocación ≈ USD 1 millones / km Topografía intensiva, ingeniería, validación certificación ≈ USD 0.5 – 1 millones / km	Materiales y equipos: ≈ USD 2.5 – 3 millones / km Colocación ≈ USD 2 – 2.5 millones / km Topografía intensiva, ingeniería, validación certificación ≈ USD 1 millones / km
	Aspectos que implican aumento de costos entre las modalidades: Los requerimientos de materiales, sofisticación de aparatos y equipos de vía, y requerimientos de vías secundarias (garajes, puntos de maniobra, vías de mantenimiento, andenes dobles en terminales y estaciones de integración).	
Sistemas de energía de tracción	Materiales y equipos ≈ USD 1.25 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 0.75 millones/km Ingeniería, integración, pruebas y certificación: ≈ USD 0.50 millones/km	Materiales y equipos: ≈ USD 2.50 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 1.50 millones/km Ingeniería, integración, pruebas y certificación: ≈ USD 0.9 – 1 millones/km
	Aspectos que implican aumento de costos entre las modalidades: Mayor potencia instalada por los sistemas metro, que impactan en los costos de la alta tensión. Mayores niveles de redundancia, y capacidades de los sistemas de tracción; catenaria rígida vs catenaria flexible	
Sistemas de control de trenes	Materiales y equipos: ≈ USD 1.2 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 0.5 millones/km Ingeniería, integración, pruebas, validación y certificación: ≈ USD 0.5 millones/km	Materiales y equipos: ≈ USD 2 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 1 millones/km Ingeniería, integración, pruebas, validación y certificación: ≈ USD 1 millones/km
	Aspectos que implican aumento de costos entre las modalidades: Requerimientos más estrictos de capacidad, disponibilidad y seguridad, demandan mejores sistemas de señalización y control con mayor automatización y redundancia, un mayor número de zonas controladas y equipos en vías, más funcionalidades del Material Rodante y procesos más exigentes de validación, demostración de seguridad y certificación.	



Telecomunicaciones	Materiales y equipos: ≈ USD 0.40 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 0.20 millones/km Ingeniería, integración, pruebas y certificación: ≈ USD 0.20 millones/km	Materiales y equipos: ≈ USD 0.65 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 0.35 millones/km Ingeniería, integración, pruebas y certificación: ≈ USD 0.31 millones/km
	Aspectos que implican aumento de costos entre las modalidades: Mayores requerimientos de comunicaciones, redes dedicadas para los datos de señalización, redundancias exigidas por los sistemas de control, así como más equipos de CCTV, bocinas, pantallas, por el tamaño de estaciones	
Sistemas electromecánicos especializados	Materiales y equipos: ≈ USD 1.50 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 1 millones/km Ingeniería, integración, pruebas y certificación: ≈ USD 1 millones/km	Materiales y equipos: ≈ USD 5 - 6 millones/km Instalación y montaje: ≈ USD 2.50 millones/km Ingeniería, integración, pruebas y certificación: ≈ USD 1 millones/km
	Aspectos que implican aumento de costos entre las modalidades: Costo de la electromecánica de talleres. Instalaciones electromecánicas significativamente en túneles, principal tipología constructiva en los sistemas Metro. Sistemas de ventilación y extracción de humos de alta capacidad y sistemas de protección contra incendios con mayores capacidades, así como más funcionalidades para los sistemas supervisores (SCADA).	

Elaboración propia, con base en información colectada

Gráfica 6. Costos agregados y desagregados, estimados para los sistemas ferroviarios para ambos tipos de sistemas.



Elaboración propia, con base en información colectada



Resumen de los costos de implementación

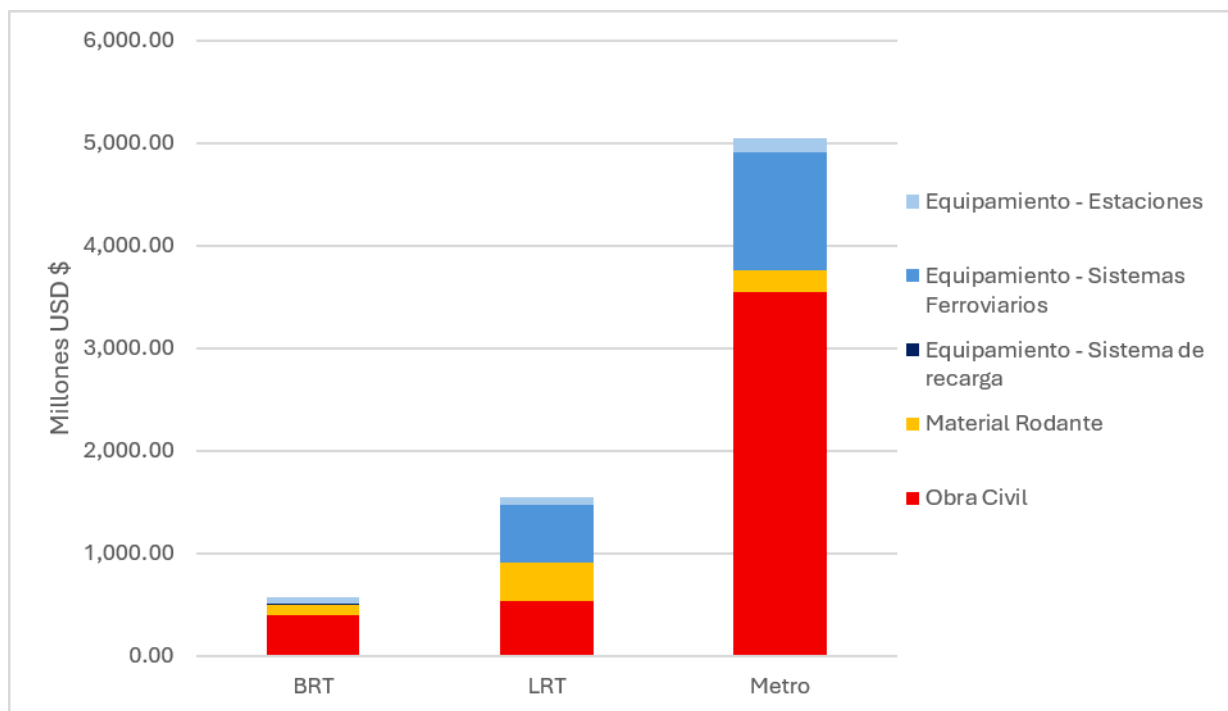
A partir de la metodología descrita, se estimaron los costos de implementación de las alternativas BRT, LRT y Metro Ligero. Los valores obtenidos deben interpretarse como estimaciones de carácter conceptual y comparativo, adecuadas para la etapa y evaluación nivel de perfil del proyecto. Su principal objetivo es identificar órdenes de magnitud de inversión y comprender las diferencias estructurales de costo entre tecnologías, más que establecer presupuestos definitivos de ejecución. En las siguientes secciones se presentan los resultados consolidados y el análisis de los principales factores que explican las variaciones observadas entre alternativas.

Tabla 52. Resultados de la estimación paramétrica de costos de implementación (CAPEX)

Concepto	Unidad	BRT	LRT	Metro
Resultado				
CAPEX/km	USD/km	12.313.176	33.050.440	108.167.829
CAPEX Total	USD	575.270.005	1.544.112.340	5.053.587.130
Obra Civil		Superficial	Superficial	Soterrado
Subtotal	USD	400.379.384	532.504.581	3.553.453.271
Material Rodante		Biarticulado eléctrico	Tram 290 pax	Metro ligero 600 pax
Subtotal	USD	95.000.000	378.856.744	211.402.144
Equipamiento				
Sistema de recarga				
Subtotal	USD	12.500.000	0	0
Sistemas Ferroviarios				
Subtotal	USD	0	565.360.394	1.144.077.623
Equipamiento de Estaciones				
Subtotal	USD	67.390.621	67.390.621	144.654.091
Costo/km Equipamiento	USD/km	1.709.992	13.543.509	27.584.230
Costo total Equipamiento	USD	79.890.621	632.751.015	1.288.731.714

Fuente: elaboración propia



Gráfica 7. Resultados de la estimación paramétrica de costos de implementación (CAPEX)

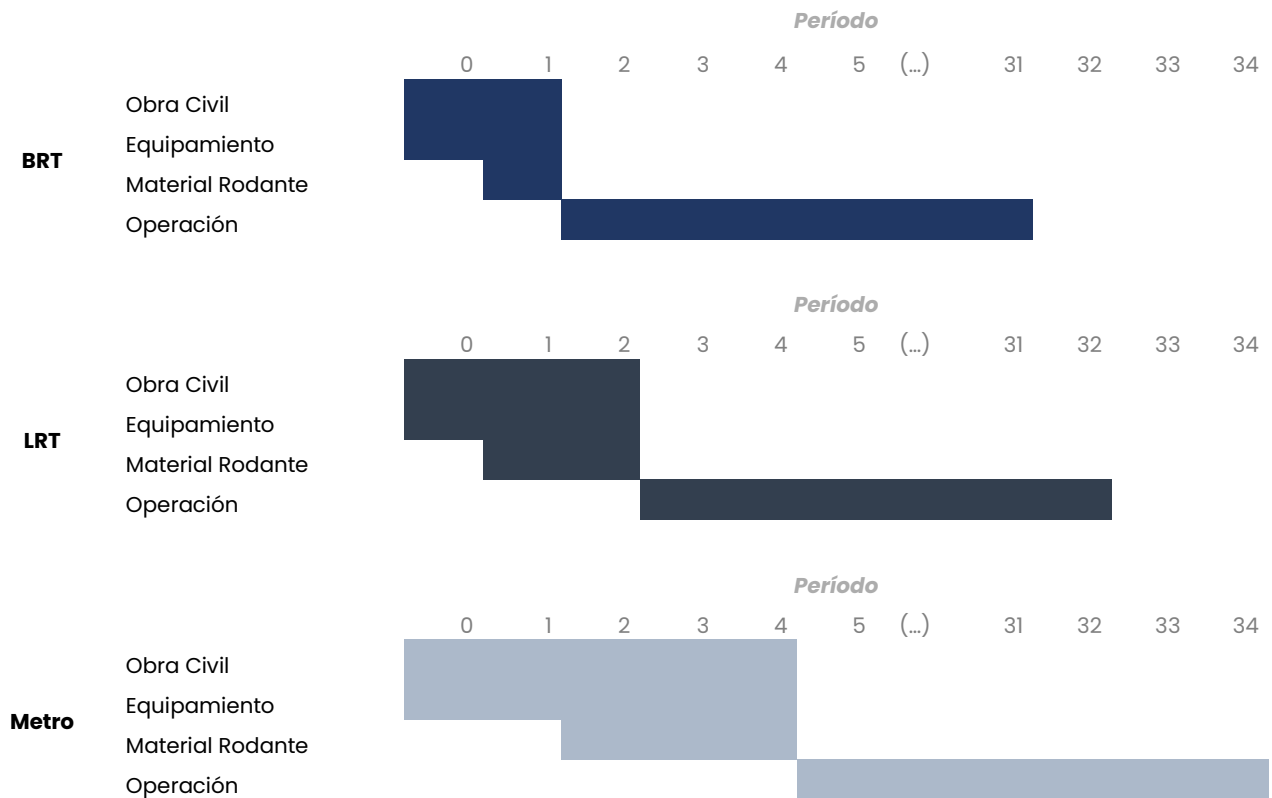
Elaboración propia,

Plazos de implementación y flujos de inversión

Estos costos se incorporan al flujo de acuerdo con la calendarización de inversión definida para cada alternativa. Como se observa en la siguiente ilustración, la inversión se distribuye durante el período de construcción previo al inicio de la operación: 2 años para BRT, 3 años para LRT y 5 años para Metro Ligero. Se asume una distribución lineal de la obra civil, mientras que el material rodante se imputa en el último año de construcción.



Ilustración 17. Calendarización de la inversión inicial



Fuente: elaboración propia

5.4.4. Costos de operación y mantenimiento (OPEX)

La evaluación de los costos de operación y mantenimiento (OPEX) tiene como objetivo estimar los recursos necesarios para garantizar la prestación continua del servicio durante la vida útil de cada una de las alternativas analizadas. A diferencia de la inversión inicial (CAPEX), que se concentra en la construcción y adquisición de activos, los costos de operación representan los gastos recurrentes asociados a la explotación cotidiana del sistema.

Si bien la estructura de costos presenta particularidades según la tecnología considerada, la experiencia internacional muestra que existen algunos componentes que concentran la mayor parte de los costos operativos de los sistemas de transporte masivo. En consecuencia, para efectos del presente análisis se identificaron cuatro grandes categorías de costos: (A) nómina y personal operativo, (B) costos de energía, (C) mantenimiento y conservación de activos, y (D) otros costos de operación.

A. Nómina



Los costos de personal se estiman a partir del dimensionamiento operativo de cada alternativa modal y de una estructura salarial común, construida sobre el costo laboral unitario del Conductor–Cobrador del transporte urbano de Montevideo. Este cargo se utiliza como referencia base del modelo, dado que permite anclar la nómina a una categoría salarial vigente y representativa del sector.

Tabla 53. Dimensionamiento del personal por modo

Dimensionamiento del Personal	BRT	LRT	Metro Ligero
Conductores / Operadores	275	216	90
Maniobristas	6	12	24
Personal de estaciones (seguridad + operacional)	80	80	240
Control operacional (CCO)	18	15	15
Mantenimiento material rodante	55	80	120
Mantenimiento infraestructura	15	23	30
Sistemas (energía, señalización)	5	45	75
Seguridad y vigilancia	180	180	360
Administración	35	35	35
Total estimado (personas)	669	686	989

Fuente: estimación propia

Para monetizar esta dotación, se tomó como referencia el modelo de liquidación salarial del informe *Subsidios al Transporte* de la Intendencia de Montevideo (Marquez, 2020), incorporando las partidas salariales y para–salariales aplicables al transporte urbano. Sobre esa estructura se aplicaron los valores vigentes del Acta del Consejo de Salarios del Grupo N.º 13, Subgrupo 01, aprobada el 16 de junio de 2025 (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Uruguay, 2026).

El costo laboral resultante es de \$UY 167.091/mes por Conductor–Cobrador; los restantes cargos se estiman como múltiplos del salario base según las relaciones del convenio.



Tabla 54. Costos de OPEX – Nómina (USD/año)

Área	BRT	LRT	Metro Ligero
Conductores / Operadores	13.698.385	10.759.459	4.483.108
Maniobristas	277.837	555.674	1.111.347
Personal de estaciones (seguridad + operacional)	3.266.878	3.266.878	9.800.634
Control operacional (CCO)	933.627	778.022	778.022
Mantenimiento material rodante	2.748.868	3.998.353	5.997.530
Mantenimiento infraestructura	602.729	924.184	1.205.457
Sistemas (energía, señalización)	317.202	2.854.818	4.758.031
Seguridad y vigilancia	7.998.558	7.998.558	15.997.117
Administración	1.610.297	1.610.297	1.610.297
Total estimado	31.454.381	32.746.244	45.741.543

Fuente: elaboración propia

B. Costos de Energía

El costo de energía se estima a partir de tres insumos principales: (i) el perfil horario de operación del sistema, que determina la intensidad de circulación de la flota a lo largo del día; (ii) el consumo energético unitario por kilómetro recorrido, diferenciado por modo y tecnología de tracción; y (iii) la estructura tarifaria eléctrica vigente de UTE (tarifa GC3), que discrimina precios de energía y cargos por potencia según el tramo horario (Valle, Llano y Punta). La metodología se articula en cinco pasos que se describen a continuación.

- **Paso 1. Perfil horario de operación.** Para cada hora del día se asigna un Factor de Intensidad Horaria (% de la Hora Pico de Tarde) que va de 0%–20% en horas nocturnas hasta el 100% en los períodos pico. La suma de estos factores determina los días equivalentes anuales de operación de cada modo.
- **Paso 2. Escenario de carga.** LRT y Metro Ligero recargan en línea vía catenaria, por lo que su perfil de consumo sigue directamente el perfil de operación. El BRT eléctrico recarga en depósito con carga lenta, lo que permite concentrar toda la demanda en el tramo tarifario Valle (00:00–07:00), el de menor precio.
- **Paso 3. Demanda energética horaria.** La demanda energética horaria resulta del producto entre el Factor de Intensidad Horaria, los km recorridos en la HPT y el consumo unitario (kWh/km-veh). Los valores diarios consolidados se presentan en la tabla siguiente.



Tabla 55. Demanda energética por modo

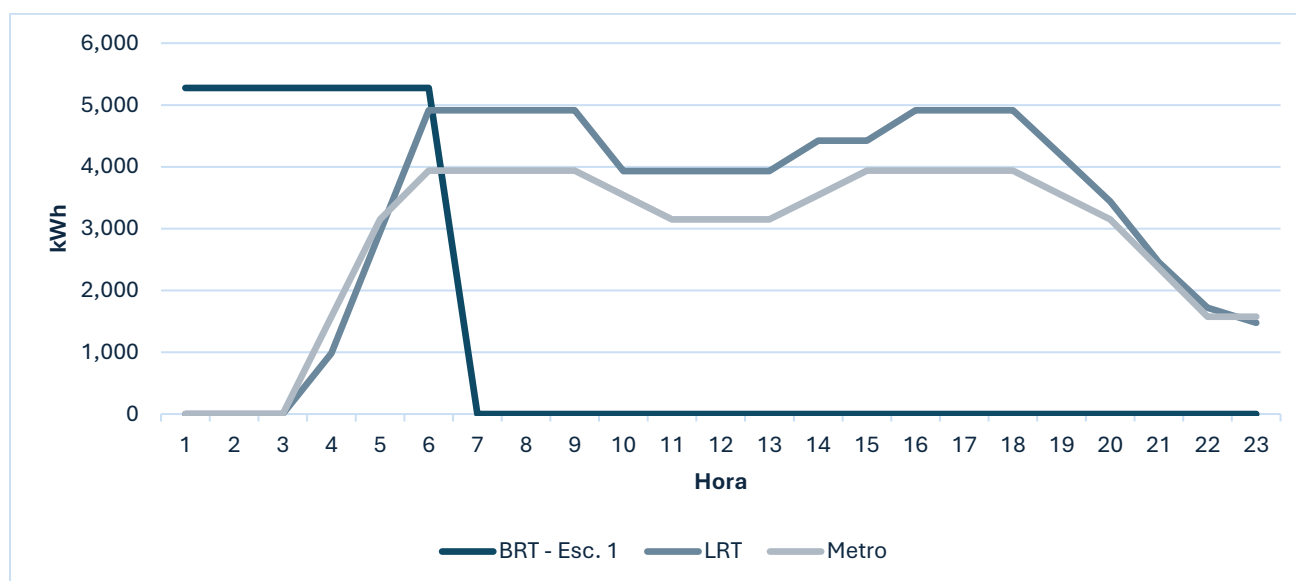
	Unidad	BRT	LRT	Metro Ligero
Consumo Unitario	kWh/km	1,56	4,19	6,72
Km recorridos en HPT	Km/día	23.671	18.414	9.911
Demanda energética diaria	kWh/día	36.926	77.155	66.600

Fuente: estimación propia

El gráfico a continuación muestra los perfiles horarios de demanda energética de cada modo. El Metro Ligero presenta la curva más pronunciada, ya que concentra su consumo en los picos de mañana y tarde, con escasa demanda en horas valle, lo que resulta en una exposición elevada a las tarifas de Llano y Punta.

El BRT muestra el perfil más plano, producto de su mayor número de vehículos operando a lo largo de todo el día. Además, al recargar en depósito en horario nocturno (00:00–07:00), toda su demanda de carga cae en el tramo Valle, lo que explica su costo unitario de energía más bajo (USD 0,060/kWh efectivo versus USD 0,099/kWh del LRT¹⁴). El LRT adopta una posición intermedia tanto en perfil horario como en costo.

Esta distribución determina la proporción del consumo anual que recae en cada tramo tarifario y, en consecuencia, el costo efectivo de la energía por modo presentado en el Paso 5.

Gráfica 8. Perfil horario de demanda energética por modo (kWh/h)

Fuente: estimación propia

¹⁴ Se estima como costo de energía/consumo (sin potencia ni cargo fijo).



- **Paso 4. Asignación por tramo tarifario.** La demanda horaria se agrega en los tres tramos de la tarifa GC3 de UTE (Valle, Llano y Punta) para determinar el consumo por período. Las tarifas aplicadas se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 56. Tarifas energéticas aplicadas (UTE)

Tarifa	Nivel de tensión (kV)	Precio de energía (\$/kWh)			Potencia (\$/kW)			Cargo fijo mensual (\$UY)
		Valle	Llano	Punta	Valle	Llano	Punta	
GC3	31,5 - 63	2,40	3,94	5,26	56,80	186,20	307,20	10.267

Fuente: UTE

- **Paso 5. Cálculo del costo.** El costo mensual por tramo combina el cargo por energía ($\text{kWh} \times \text{precio unitario} \times \text{días equivalentes/mes}$) y el cargo por potencia máxima ($\text{kW} \times \text{precio de potencia}$), más el cargo fijo. En particular, para el BRT se adopta una potencia contratada de 9.000 kW (9 MW), consistente con la capacidad instalada de recarga en depósito de 50 posiciones de 180 kW, en lugar de la potencia máxima horaria registrada. El costo anual en USD, aplicando el tipo de cambio del dólar utilizado es el siguiente:

Tabla 57. Costos de OPEX – Energía (USD/año)

BRT	LRT	Metro Ligero
859.541	3.322.768	2.795.949

Fuente: estimación propia

C. Mantenimiento

El mantenimiento se estimó aplicando porcentajes anuales sobre el CAPEX según componente:

- Mantenimiento de obra civil: 0,5% anual sobre el CAPEX de obra civil de cada alternativa
- Mantenimiento de material rodante: 3,5% anual sobre el CAPEX de material rodante de cada alternativa
- Mantenimiento de equipamiento: 1,5% anual sobre el CAPEX de equipamiento de cada alternativa

Estos coeficientes reflejan prácticas del sector y son consistentes con la guía MTOP para infraestructura de transporte público.



D. Otros

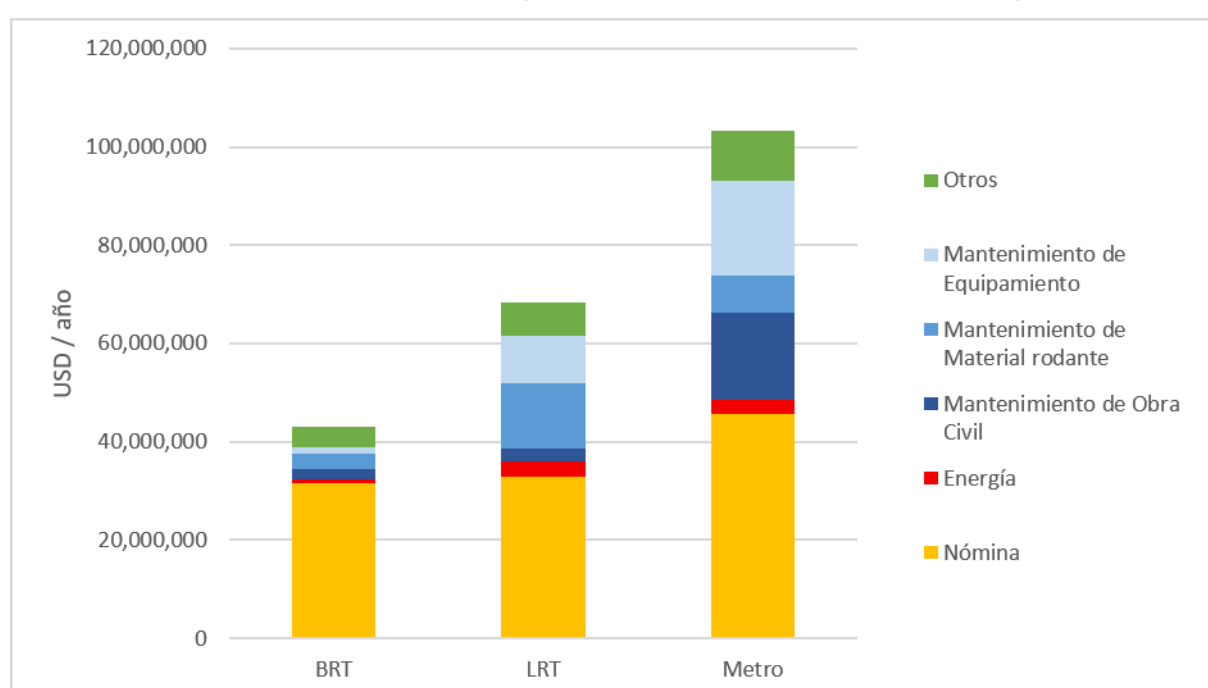
El rubro Otros agrupa los gastos operativos no contemplados explícitamente en los rubros anteriores, tales como seguros, gastos administrativos generales, servicios de terceros y contingencias operativas menores. Se estima como el 10% del subtotal de los costos de operación y mantenimiento, lo que permite capturar la heterogeneidad de estos costos sin sobredimensionar el modelo.

Tabla 58. Resultados de la estimación paramétrica de costos anuales de operación (OPEX)

Costos de operación- OPEX (USD / año)	BRT	LRT	Metro
Nómina	31,454,381	32,746,244	45,741,543
Energía	859,541	3,322,768	2,795,949
Mantenimiento de Obra Civil	2,001,897	2,662,523	17,767,266
Mantenimiento de Material rodante	3,325,000	13,259,986	7,399,075
Mantenimiento de Equipamiento	1,198,359	9,491,265	19,330,976
Otros	4,315,464	6,831,421	10,337,201
Total	43,154,642	68,314,206	103,372,011

Elaboración propia,

Gráfica 9. Resultados de la estimación paramétrica de costos anuales de operación (OPEX)



Elaboración propia,



5.4.5. Costos de reposición (REPX)

A. Obra civil

La vida útil de la obra civil (50 años) supera el horizonte de evaluación, por lo que no se generan costos de reposición en ninguna de las tres alternativas.

B. Material rodante

Cuando la vida útil del material rodante es inferior al horizonte de operación, el modelo incorpora la reposición correspondiente en el año en que se cumple su vida útil. Para el BRT, se considera una vida útil de 15 años, por lo que la flota completa debe renovarse en el año 15 de operación, por un monto equivalente al costo de adquisición original.

Adicionalmente, las baterías de propulsión del BRT tienen una vida útil de 7,5 años, lo que implica una reposición a mediados de cada ciclo de vida del bus. En consecuencia, el modelo incorpora dos reposiciones de baterías dentro del horizonte de evaluación, en los años 10 y 25 (años 8 y 23 de operación).

C. Equipamiento

La vida útil del equipamiento (30 años para las tres alternativas) coincide con el horizonte de operación, por lo que no se generan costos de reposición en ninguna de las tres alternativas.

5.4.6. Estimación de valor residual

A. Obra Civil

La vida útil de la obra civil es de 50 años en las tres alternativas, superior al horizonte de evaluación de 30 años de operación. Al cierre del período se reconoce un valor residual proporcional a la vida útil remanente: dado que los activos conservan 20 años de vida remanente al año 30 de operación, se aplica una fracción residual de $20/50 = 0,40$ sobre el costo de inversión original. Este valor se descuenta al 7,5% anual hasta el momento cero. En el modelo, los valores residuales se registran con signo negativo, reduciéndose el TCO de cada alternativa.



B. Material rodante

El material rodante del BRT tiene una vida útil de 15 años, inferior al horizonte de evaluación, por lo que no genera valor residual. Donde la flota se repone en el año 15 y al cierre del período la vida útil de los activos está agotada. Para el LRT y el Metro, la vida útil del material rodante es de 30 años, coincidente con el horizonte de operación, por lo que tampoco se reconoce valor residual en estos modos.

C. Equipamiento

La vida útil del equipamiento electromecánico es de 30 años para las tres alternativas, coincidente con el horizonte de evaluación de 30 años de operación. Por ello, no se reconoce valor residual por este componente en ninguna de las alternativas.

5.4.7. Resultados

A continuación, se presentan los resultados del TCO para las tres alternativas evaluadas, expresados en Valor Actual Neto (VAN) y desagregados por componente de costo.

Considerando una tasa de descuento del 7,5% anual, 30 años de operación y los períodos de construcción correspondientes a cada modo, el TCO estimado asciende a:

- BRT: USD 1.043,4 millones
- LRT: USD 2.095,7 millones
- Metro: USD 5.167,8 millones

La tabla siguiente presenta la desagregación del TCO por componente para cada alternativa.

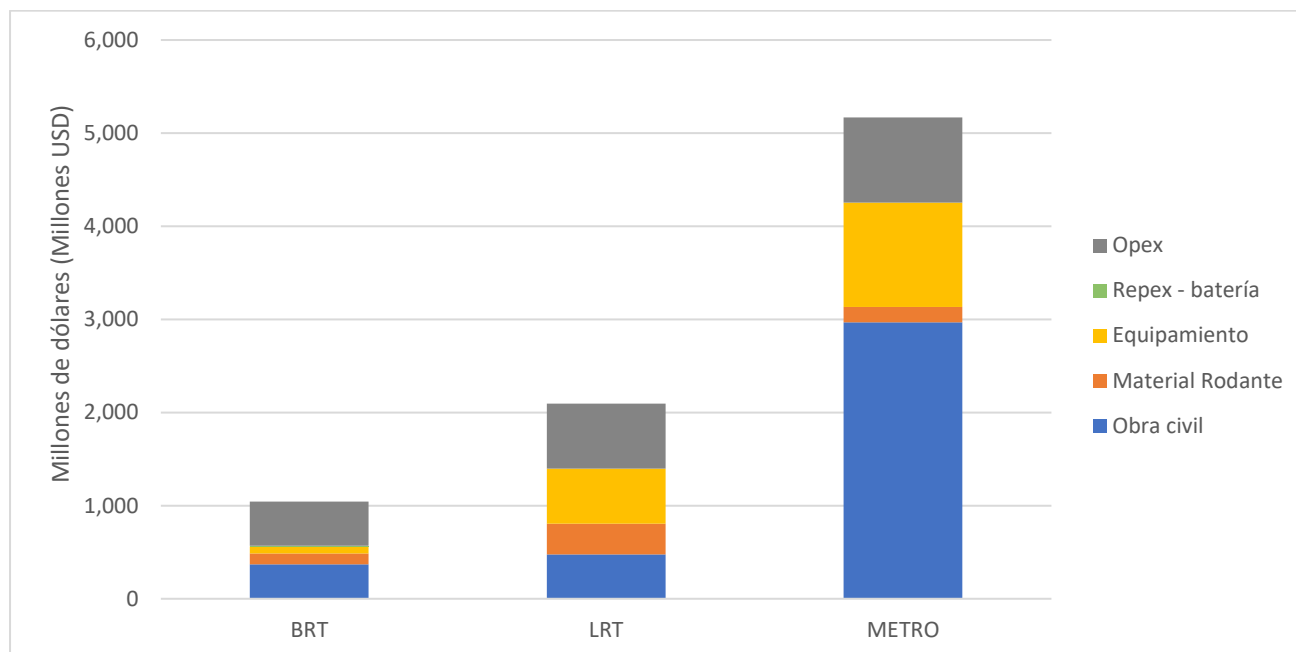


Tabla 59. Resultados del análisis TCO (VAN)

Rubro	BRT	LRT	METRO
Obra civil	369.396.198	475.164.159	2.969.456.540
Costo	386.412.661	496.217.086	3.091.025.532
Valor residual	-17.016.464	-21.052.927	-121.568.992
Material Rodante	116.155.130	332.754.653	163.136.022
Costo	88.372.093	332.754.653	163.136.022
Repex	27.783.037	0	0
Valor residual	0	0	0
Equipamiento	77.103.739	589.632.233	1.121.022.940
Sistemas de recarga	12.063.953	0	0
Sistemas ferroviarios	0	526.833.942	995.193.372
Equipamiento de estaciones	65.039.785	62.798.291	125829568
Repex	0	0	0
Valor residual	0	0	0
Batería	6.594.786	0	0
Repex	6.594.786	0	0
Valor residual	0	0	0
Opex	474.114.409	698.165.206	914.183.143
Nómina	345.570.593	334.663.745	404.520.987
Energía	9.443.262	33.958.395	24.726.323
Mantenimiento de Obra Civil	21.993.652	27.210.751	157.127.014
Mantenimiento de Material rodante	36.529.799	135.515.896	65.434.634
Mantenimiento de Equipamiento	13.165.661,71	96.999.899	170.955.871
Otros	47.411.441	69.816.521	91.418.314
TCO	1.043.364.261	2.095.716.250	5.167.798.644

Fuente: estimación propia



Gráfica 10. Resultados del TCO para cada alternativa (VAN, USD)

Fuente: estimación propia

La diferencia entre alternativas se explica principalmente por los costos de capital (CAPEX), que representan el 54% del TCO en el BRT, el 67% en el LRT y el 82% en el Metro. Esta brecha responde a diferencias estructurales en la composición de la inversión requerida por cada modo.

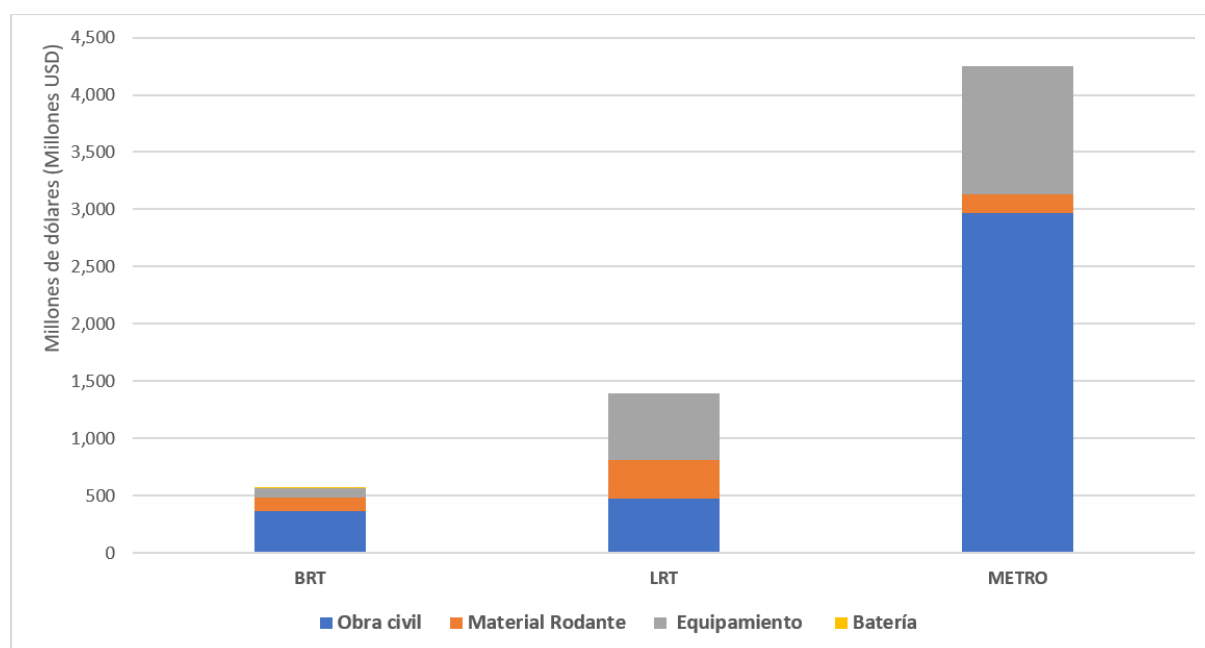
En el BRT, la menor intensidad de capital se refleja en un costo unitario de obra civil de USD 8,57 millones/km a valor corriente. Aunque esta alternativa requiere la flota más numerosa, el menor costo unitario de los vehículos (USD 950.000 por unidad) permite contener la inversión en material rodante en USD 88,4 millones a valor presente. El equipamiento asciende a USD 77,1 millones, desagregado en USD 12 millones en el sistema de recarga y 65 millones en las estaciones, lo que resulta en un CAPEX total de USD 562,7 millones para la alternativa a valor actual.

El LRT refleja una intensidad de capital intermedia, con un costo unitario de obra civil de USD 11,4 millones/km a valor corriente, equivalente a 1,3 veces el del BRT, y un CAPEX total de USD 1.397,5 millones a valor actual. El mayor costo unitario del material rodante (USD 5,1 millones por vehículo), combinado con una flota de 74 unidades, determina una inversión de USD 332,8 millones a valor presente. Por su parte, el equipamiento alcanza USD 589 millones (a valor actual), compuesto por 526,8 millones en costos de los sistemas ferroviarios y el restante 62,8 en equipamiento de estaciones.



El Metro concentra la mayor intensidad de capital, con un costo unitario de obra civil de USD 76,06 millones/km a valor corriente, equivalente a 8,88 veces el del BRT, y una inversión total en infraestructura de USD 3.091 millones a valor presente. Su flota, compuesta por 22 trenes con un costo unitario de USD 9,6 millones por unidad, determina un CAPEX de material rodante de USD 163,1 millones a valor presente. El equipamiento asociado asciende a USD 1.121,0 millones, con un CAPEX total de USD 4.253,6 millones para la alternativa expresados a valor presente.

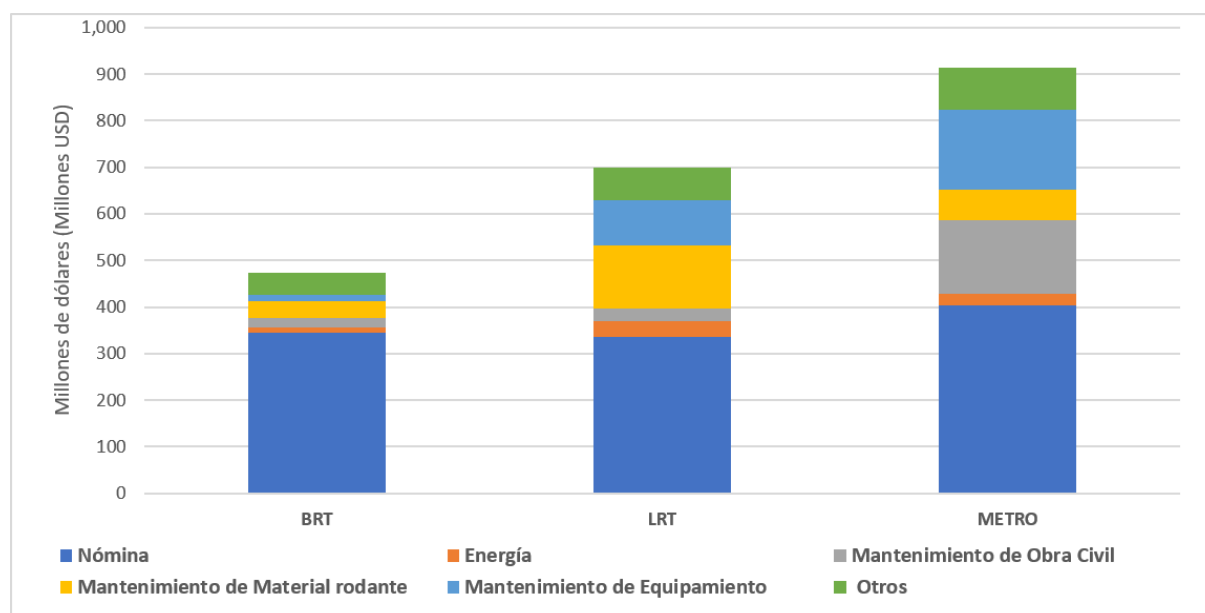
Gráfica 11. TCO CAPEX (Millones de USD)



Fuente: Elaboración propia

Los costos de operación y mantenimiento (OPEX) presentan diferencias entre alternativas, aunque menos pronunciadas que las observadas en el CAPEX. En valor actual, ascienden a USD 474,1 millones para el BRT, USD 698,1 millones para el LRT y USD 914,2 millones para el Metro. Esto implica que el OPEX del LRT equivale a 1,48 veces el del BRT, mientras que el del Metro alcanza 1,93 veces el del BRT y 1,3 veces el del LRT.



Gráfica 12. TCO OPEX (millones de USD)

Fuente: estimación propia

En términos relativos, el OPEX representa el 45% del TCO del BRT, el 33% del LRT y el 18% del Metro, reflejando un peso decreciente de los costos operativos a medida que aumenta la intensidad de capital de cada alternativa.

La nómina constituye el principal componente del OPEX en las tres alternativas, aunque su incidencia varía según la estructura operativa de cada modo. En el BRT representa el 73% del OPEX y el 33% del TCO total, reflejando una mayor participación de los costos de personal en la operación. En el LRT alcanza el 47,6% del OPEX y el 16% del TCO, mientras que en el Metro representa el 44,2% del OPEX y el 8% del TCO.

El mantenimiento también presenta diferencias relevantes entre modos. El mantenimiento de material rodante representa el 8% del OPEX en el BRT y el 7% en el Metro, mientras que en el LRT alcanza el 19%, más del doble que en las otras alternativas, asociado al mayor valor de inversión de la flota. Por su parte, el mantenimiento de equipamiento representa el 3% del OPEX en el BRT, el 14% en el LRT y el 19% en el Metro, reflejando el mayor peso relativo del equipamiento ferroviario en las alternativas ferroviarias.

En materia energética, el BRT presenta el menor peso relativo, con un costo equivalente al 2% de su OPEX. El LRT es el modo de mayor incidencia energética, con un 5% de su OPEX, mientras que el Metro se ubica en el 3%. Estas diferencias responden al consumo unitario por kilómetro, los kilómetros recorridos, el perfil horario de operación y la estructura tarifaria aplicada en cada caso.



En materia de reposición, el BRT es la única alternativa que registra costos dentro del horizonte de evaluación. La renovación de flota en el año 15 representa USD 27,8 millones en valor actual, mientras que las reposiciones de baterías suman USD 6,6 millones, totalizando USD 34,4 millones. El LRT y el Metro no generan reposiciones, dado que la vida útil del material rodante coincide con el período operativo.

En cuanto al valor residual, las tres alternativas reconocen el correspondiente a la obra civil al cierre del horizonte: USD 17 millones en el BRT, USD 21,1 millones en el LRT y USD 121,6 millones en el Metro.

En conjunto, los resultados muestran estructuras de costo diferenciadas. El BRT presenta el menor TCO y concentra una mayor proporción de sus costos en OPEX, especialmente en nómina. El LRT muestra una composición más equilibrada entre inversión y operación, mientras que el Metro concentra la mayor proporción de su costo en CAPEX, principalmente en obra civil y equipamiento. Así, la comparación entre alternativas refleja no solo diferencias en el costo total, sino también en el perfil temporal y en la composición de los flujos de costo.

5.4.8. Financiamiento de las alternativas de implementación

A. Modalidades contractuales para el desarrollo del Proyecto

Uruguay cuenta con un marco normativo amplio para el desarrollo de proyectos de infraestructura y de movilidad, construido a partir de distintos instrumentos jurídicos y experiencias acumuladas en sectores como transporte. En la presente sección se analizan brevemente tres alternativas a nivel conceptual: contrato de obra pública tradicional, contrato de Participación Público-Privada (PPP) y el esquema CREMAF, desarrollado originalmente para infraestructura vial. Estos mecanismos presentan diferencias en cuanto a marco legal, entidad contratante, forma de financiamiento, distribución de riesgos, esquema de pagos, plazo contractual e impacto fiscal. Por ello, no deben entenderse como alternativas equivalentes, sino como instrumentos con perfiles distintos que pueden ser más o menos adecuados según la naturaleza del proyecto, el nivel de inversión requerido, la capacidad institucional disponible y los objetivos de política pública.

En este análisis, ejecutado a nivel de perfil, no se cuantifican los requerimientos fiscales en cada una de las tres alternativas para cada una de las modalidades de transporte evaluadas en el documento. Solamente se valoran a nivel cualitativo, siendo un ejercicio cuya cuantificación será necesaria en las siguientes etapas de estudios de preinversión que se están llevando adelante por parte de las autoridades



nacionales. En el *Anexo 2 – Descripción de alternativas contractuales* se presenta un resumen de cada una de éstas según el marco normativo vigente.

Una de las actividades claves que se deberá abordar en el proceso previo a la implementación del proyecto será someter a un diagnóstico exhaustivo el diseño contractual del proyecto. En el Anexo 2 se resumen en forma general los tres mecanismos con los que se han llevado adelante las obras de infraestructura de los últimos años en Uruguay. Para el sistema de transporte del AMM será necesario evaluar la potencial segmentación de contratos entre las inversiones en obras civiles, adquisición de material rodante, mantenimiento de éstas, entre otras detalladas en los capítulos anteriores.

El criterio para llevar adelante este trabajo dependerá de una serie de factores que responden a elementos técnicos, operativos, financieros y de impacto fiscal.

En términos generales, el esquema de **obra pública es el más simple de estructurar**, el Estado financia, contrata y paga por avance, reteniendo gran parte de los riesgos. Su principal limitación es el impacto fiscal inmediato y la menor transferencia de riesgos al privado. En términos de financiamiento **depende del presupuesto nacional, afectando el endeudamiento soberano.**

La modalidad **PPP** es el mecanismo más integral y de mayor plazo, donde se agrupa el diseño, construcción, financiamiento, mantenimiento y operación en un solo contrato, trasladando al privado riesgos significativos. **Es útil cuando se busca asegurar desempeño durante muchos años y cuando el Valor por Dinero justifica el mayor costo y complejidad de estructuración.** La estructuración financiera depende únicamente del privado, que aporta capital y accede a financiamiento bancario.

El mecanismo **CREMAF**, diseñado para proyectos viales, ocupa una posición intermedia. Permite financiamiento privado y traslada al contratista el mantenimiento por niveles de servicio, pero con menor plazo y menor complejidad que una PPP. Su esquema de CIP puede ser atractivo para acelerar obras sin generar un desembolso público inmediato equivalente al de la obra pública tradicional. Sin embargo, **su uso fuera del sector vial requeriría rediseñar la institucionalidad contratante y adaptar el mecanismo de certificados, garantías y pagos al tipo de infraestructura correspondiente.**

Para cada una de las tres modalidades de transporte se deberá evaluar la segmentación de contratos por especialidad del CAPEX y/o de la operación del sistema.

En la siguiente tabla se presenta un ejercicio comparativo por modalidad y con los tres esquemas contractuales planteados, diferenciando las principales variables que afectan el diseño del modelo de negocios.



Tabla 60. Aplicación de las modalidades contractuales a los modos de transporte del AMM

Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Ligero
OBRA PÚBLICA (TOCAF)				
Obra Pública (TOCAF)	Contratos de construcción y operación	Requiere contratos de construcción y operación separados. La separación de contratos es manejable dado el menor CAPEX y la familiaridad del Estado con obras viales similares. Permite adjudicar la construcción rápidamente.	Requiere contratos de construcción y operación separados. La separación es funcional, pero añade riesgo de coordinación entre el contratista de obra y el operador, especialmente en sistemas ferroviarios donde la integración técnica es crítica.	Requiere contratos de construcción y operación separados. La separación contractual es la mayor debilidad de esta modalidad para el Metro: la coordinación entre obra civil, sistemas ferroviarios y operador sin un único responsable genera exposición a retrasos, desvíos y riesgos en integración de todos los contratos por componente
	Segmentación de contratos de inversión	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. La segmentación presente riesgos menores, donde la obra civil (corredores, estaciones) y el equipamiento (flota eléctrica) pueden licitarse separadamente sin pérdida significativa de eficiencia.	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. La segmentación suele ser necesaria pero compleja. Los sistemas ferroviarios (señalización, material rodante) requieren coordinación técnica estrecha con la obra civil, que es complejo de garantizar con contratos separados.	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. La segmentación multiplica los riesgos de interfaz. Obra civil soterrada, sistemas electromecánicos, material rodante y sistemas de control son interdependientes. Sin un integrador único, los sobrecostos y sobreplazos por interfaces son altamente probables.



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Lógico
	Operación del servicio	Operación del servicio en un contrato independiente, con posible concesión a privados (la inversión se mantiene con financiamiento público). Compatible con el sistema actual. Donde operadores existentes (probablemente no el 100%) pueden reconvertirse o incorporarse como concesionarios del servicio o como complemento al sistema a implementarse.	Operación del servicio en un contrato independiente, con posible concesión a privados (la inversión se mantiene con financiamiento público). Requiere operador con experiencia ferroviaria, inexistente en el mercado local. Necesitará licitación internacional o alianza técnica con operador extranjero.	Operación del servicio en un contrato independiente, con posible concesión a privados (la inversión se mantiene con financiamiento público). Exige un nuevo esquema de gestión del transporte sin equivalente en Uruguay. La operación de un metro requiere estructuras organizacionales, protocolos de seguridad y sistemas de control de una complejidad cualitativamente diferente.
	Plazo de estructuración	Plazo de estructuración bajo. Principal ventaja competitiva de esta modalidad para el BRT. Puede licitarse en 12-18 meses bajo TOCAF con pliegos estándar, aprovechando la experiencia institucional existente.	Plazo de estructuración medio. El plazo se extiende por la necesidad de elaborar pliegos técnicos ferroviarios especializados y contratar asistencia técnica externa para la evaluación de ofertas.	Plazo de estructuración alto. El plazo de estructuración elevado, donde la complejidad técnica exige tiempo de estudios de ingeniería más exhaustivos y un mayor tiempo para la conformación de los documentos de licitación. .
	Infraestructura en obra civil	Infraestructura en obra civil familiar para el Estado/sector construcción de Uruguay. Alta disponibilidad de empresas constructoras locales con experiencia en vialidad urbana. Reduce riesgo de concentración de mercado y facilita la competencia en la licitación.	Infraestructura en obra civil con antecedentes parciales para el Estado/sector construcción de Uruguay. Existen antecedentes locales parciales (Ferrocaril Central, Túnel Italia), pero la especialización en vía urbana a nivel y catenaria es limitada. Probable participación de consorcios internacionales.	Infraestructura en obra civil con pocos antecedentes para el Estado/sector construcción de Uruguay. Las obras soterradas de escala metropolitana son prácticamente inexistentes en el historial constructivo de Uruguay. La dependencia de contratistas internacionales introduce riesgos de precio, plazo y transferencia de conocimiento.



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Lógico
	Financiamiento	Financiamiento público. Viable con crédito soberano de organismos multilaterales (BID/CAF) complementando recursos presupuestales. El CAPEX de es el más manejable de las tres alternativas.	Financiamiento público. Requiere crédito multilateral soberano de escala significativa. Factible con una combinación de diversas fuentes, pero implica un aumento relevante de la deuda pública.	Financiamiento público. El CAPEX hace inviable el financiamiento exclusivamente público bajo parámetros fiscales actuales. Requeriría cofinanciamiento multilateral masivo o esquema híbrido con participación privada.
	Impacto fiscal	Impacto fiscal alto. Manejable dentro de parámetros de deuda soberana vigentes. Uruguay tiene acceso a multilaterales en condiciones favorables y el BRT no compromete el rating crediticio del país.	Impacto fiscal muy alto. Significativo pero potencialmente absorbible con una estrategia de financiamiento plurianual. Requiere inclusión en presupuesto quinquenal y aprobación parlamentaria del endeudamiento.	Impacto fiscal extremadamente alto (imposible de incluir en cuentas fiscales). Inviabile como Obra Pública pura. El impacto sobre el balance fiscal y la deuda pública sería incompatible con las metas macroeconómicas de Uruguay. Esta modalidad queda descartada para el Metro.
	Asignación de riesgos	El Estado retiene la mayoría de los riesgos (diseño, demanda, financiamiento y operación). El contratista asume únicamente el riesgo de ejecución de obra bajo fórmulas de ajuste paramétrico. Para el BRT esta concentración de riesgos en el sector público es asumible: el menor CAPEX y la familiaridad técnica del mercado local acotan la exposición a sobrecostos y desvíos de plazo. El riesgo de demanda permanece en el Estado, algo coherente con un sistema plenamente integrado al STM.	El Estado concentra los riesgos de diseño, demanda, financiamiento y operación y el riesgo de interfaz entre la obra civil y los sistemas. La separación de contratos deja la coordinación técnica a cargo del Estado, elevando la exposición a reclamos y sobrecostos. La ausencia de transferencia del riesgo operativo a un privado especializado es una debilidad relevante para el LRT.	Asignación de riesgos inviable. El Estado asumiría íntegramente los riesgos de una obra soterrada de gran escala (geotécnico, de interfaz entre múltiples contratistas, de material rodante y de operación) sin la capacidad institucional ni el espacio fiscal para gestionarlos. La imposibilidad de transferir el riesgo a un integrador único descarta esta modalidad para el Metro.
PPP (LEY N° 18.786)				



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Ligero
PPP (Ley N° 18.786)	Contratos de construcción y operación	Posibilidad de incluir construcción y operación en un mismo contrato. La integración DBFOM en un único concesionario alinea los incentivos de construcción y operación.	Posibilidad de incluir construcción y operación en un mismo contrato. Configuración óptima para el LRT. El concesionario DBFOM asume el riesgo de construcción ferroviaria y tiene incentivos para optimizar la calidad de la obra que debe operar.	Por el elevado monto se deberían segmentar los contratos de Obra Civil, suministros principales y operación. Incluso bajo PPP, la magnitud del Metro obliga a segmentar. Esto debilita la principal ventaja de la PPP (integración de responsabilidades) y requiere una arquitectura contractual de alta complejidad.
	Segmentación de contratos de inversión	No aplica. Bajo PPP el BRT puede estructurarse sin segmentación, simplificando la estructura contractual.	No aplica. El LRT bajo PPP DBFOM permite integrar obra, equipamiento y operación en un único contratista, eliminando los riesgos de interfaz entre contratos.	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. La segmentación es inevitable dado el volumen de inversión. Requiere una arquitectura de contratos con un integrador de sistemas que coordine las interfaces técnicas entre contratistas.
	Operación del servicio	Operación del sistema privado incompatible con el sistema de transporte actual. La operación privada del BRT en un contrato PPP, si bien puede integrarse con el modelo tarifario STM existente y los operadores actuales, desplaza los actuales operadores y de los actuales puestos de trabajo.	Operación del sistema privado no compatible con el sistema de transporte actual. El operador privado deberá importar conocimiento técnico y protocolos de seguridad ferroviaria no disponibles localmente.	Se debería generar una nueva modalidad de operación del sistema de gestión de transporte. Exige la creación de una autoridad metropolitana de transporte que regule la operación y el contrato PPP. Sin esta estructura institucional, la PPP de Metro no puede ser adjudicada ni supervisada.
	Plazo de estructuración	Plazo de estructuración alto. Principal desventaja de la PPP, donde el proceso PPP (análisis VpD, aprobación de las Instituciones, licitación) toma 2-3 años, mientras que bajo Obra Pública	Plazo de estructuración alto. Principal desventaja de la PPP, donde el proceso PPP (análisis VpD, aprobación de las Instituciones, licitación) toma 2-3 años, mientras que bajo Obra Pública	Plazo de estructuración muy alto. Un proceso de estructuración PPP para el Metro podría tomar 1-2 años más que BRT y LRT, con alta incertidumbre sobre el resultado del análisis de elegibilidad dentro del tope del 7% del PBI.



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Ligero
		podría licitarse en 12–18 meses.	podría licitarse en 12–18 meses.	
	Infraestructura en obra civil	Infraestructura en obra civil familiar para el sector construcción de Uruguay. El mercado constructor local puede participar competitivamente en la licitación. Riesgo de concentración de mercado bajo.	Infraestructura en obra civil familiar para el sector construcción de Uruguay. Existen antecedentes que demuestran la viabilidad de consorcios mixtos locales–internacionales para obras ferroviarias bajo PPP.	Infraestructura en obra civil poco familiar para el sector construcción de Uruguay. La obra soterrada limita la participación de empresas locales y concentra el riesgo en un número muy reducido de contratistas internacionales especializados, reduciendo la competencia en la licitación.
	Financiamiento	Financiamiento privado. Cierre financiero por parte del privado complejo. El menor CAPEX del BRT reduce la escala del riesgo privado. Los costos de financiamiento son mayores que en el caso de Obra Pública, aumentándose los requerimientos de aportes públicos acumulados en la vida del contrato PPP.	Financiamiento privado. Cierre financiero por parte del privado muy complejo. La participación de banca privada multilateral como co-financiadore del concesionario es el mecanismo más viable para el cierre financiero del LRT, replicando estructuras exitosas en proyectos ferroviarios de la región. Los costos de financiamiento son mayores que en el caso de Obra Pública, aumentándose los requerimientos de aportes públicos acumulados en la vida del contrato PPP.	Financiamiento privado. Cierre financiero por parte del privado extremadamente complejo. El cierre financiero del Metro requeriría un consorcio internacional con acceso a financiamiento muy alto, que no existe precedente en Uruguay de este nivel de estructuración. Los costos de financiamiento son mayores que en el caso de Obra Pública, y, a su vez, muy elevados, aumentándose los requerimientos de aportes públicos acumulados en la vida del contrato PPP.
	Impacto fiscal	Impacto fiscal medio. Se asume que en el contrato de PPP el pago al concesionario sería por Disponibilidad (PPD). El PPD diferido reduce el	Impacto fiscal alto. El PPD anual del LRT generará compromisos plurianuales significativos que deben computarse en el	Impacto fiscal extremadamente alto. El nivel de compromisos PPD para el Metro podría colisionar con el tope legal del 7% del PBI para pasivos



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Ligero
		impacto fiscal inmediato. El pasivo contingente PPP del BRT es manejable dentro del tope legal del 7% del PBI dado el menor CAPEX.	espacio fiscal PPP. Requiere verificación previa de compatibilidad con la cartera PPP existente.	PPP, bloqueando la estructura. Requiere esquema híbrido con cofinanciamiento soberano.
	Asignación de riesgos	La PPP transfiere al concesionario los riesgos principales de construcción, disponibilidad, financiamiento y operación, reteniendo el Estado el riesgo de demanda a través del Pago por Disponibilidad (PPD). Para el BRT, no obstante, el menor CAPEX reduce el volumen de riesgo transferible y el atractivo de asumirlo, por lo que la prima de riesgo exigida por el privado puede encarecer esta modalidad frente a la Obra Pública.	Distribución de riesgos óptima para el LRT. El concesionario DBFOM internaliza el riesgo de interfaz obra-sistemas y de construcción ferroviaria, con incentivos para optimizar la calidad de aquello que luego debe operar. El Estado retiene el riesgo de demanda vía PPD.	Aun bajo PPP, la magnitud del Metro obliga a segmentar contratos, reintroduciendo el riesgo de interfaz que la propia PPP busca eliminar. La transferencia de riesgo exige un integrador de sistemas y una autoridad metropolitana que supervise el contrato. El riesgo de demanda y el pasivo contingente pueden exceder en varias veces el tope legal del 7% del PBI, obligando a un cofinanciamiento soberano que reasigna riesgo al Estado.
MODALIDAD SIMILAR A CREMAF				
Modalidad	Variable	BRT	LRT	Metro Ligero
Modalidad similar a CREMAF	Contratos de construcción y operación	Necesidad de generar una modalidad para el nuevo proyecto. Segmentación del contrato de construcción (en esta nueva modalidad) y operación. El CREMAF adaptado ofrece una vía intermedia entre Obra Pública y PPP. El privado financia y construye (emitiendo CIPs descontables en el sistema financiero local), y el Estado paga mantenimiento por 10 años. Requiere crear una entidad concedente equivalente a CVU para transporte.	Necesidad de generar una modalidad para el nuevo proyecto. Segmentación del contrato de construcción (en esta nueva modalidad) y operación. La adaptación del CREMAF para LRT es posible, pero demanda reforma normativa. El plazo de 10 años de mantenimiento es insuficientes para la vida útil ferroviaria (30 años).	Necesidad de generar una modalidad para el nuevo proyecto. Segmentación del contrato de construcción (en esta nueva modalidad) y operación. El CREMAF en su forma actual no escala al Metro. Su aplicación requeriría una versión radicalmente modificada del instrumento, que en la práctica se aproximaría a una PPP, perdiendo las ventajas de simplicidad del mecanismo original.



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Lógico
	Segmentación de contratos de inversión	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. Potencialmente la obra civil (corredor, estaciones) se podría financiar vía CIPs, y el equipamiento requeriría un contrato separado.	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. La separación entre obra civil (CIPs) y equipamiento ferroviario complica la integración técnica. El suministro de señalización y material rodante no encaja naturalmente en el esquema de CIPs por hitos de obra civil.	Segmentación de contratos de inversión inicial (obra y equipamiento) por su elevado monto. La segmentación para el Metro bajo CREMAF generaría una proliferación de contratos y CIPs que excede la capacidad de administración actual y la del sistema financiero local para absorber los títulos.
	Operación del servicio	Operación en un contrato independiente, con posible concesión a privados. La operación queda por fuera del contrato similar al CREMAF. Compatible con los operadores actuales del STM.	Operación en un contrato independiente, con posible concesión a privados. La operación ferroviaria no se incluye. El contrato de operación deberá licitarse internacionalmente, generando una dependencia estructural de expertise extranjero.	Operación en un contrato independiente, con posible concesión a privados. Ídem al LRT, con mayor complejidad. La operación del Metro exige protocolos de seguridad, sistemas de control y estructuras organizacionales de una escala sin precedente en Uruguay.
	Plazo de estructuración	Plazo de estructuración medio. El CREMAF adaptado es más ágil que la PPP (no requiere análisis VpD formal ni aprobación OPP bajo el mismo proceso) pero más lento que la Obra Pública.	Plazo de estructuración alto. La creación de la nueva modalidad CREMAF-Ferrovial requiere desarrollo normativo específico, lo que extiende el plazo de estructuración respecto al CREMAF vial estándar.	Plazo de estructuración muy alto. El plazo de estructuración converge con el de una PPP compleja, eliminando la ventaja de simplicidad del CREMAF.
	Infraestructura en obra civil	Infraestructura en obra civil familiar para el sector construcción de Uruguay. Alta compatibilidad: los contratos CREMAF viales han sido adjudicados a empresas locales. El BRT replica esta lógica para infraestructura de transporte urbano.	Infraestructura en obra civil familiar para el sector construcción de Uruguay. Existen antecedentes parciales en el mercado local, pero la especialización ferroviaria requiere participación de consorcios internacionales, reduciendo la ventaja de	Infraestructura en obra civil poco familiar para el sector construcción de Uruguay. Las obras soterradas quedan fuera del alcance del mercado constructor local que opera bajo CREMAF.



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Lógico
			familiaridad del CREMAF vial.	
	Financiamiento	Financiamiento privado. Cierre financiero para la obra civil por parte del privado medio-complejo. Los bancos locales ya descuentan CIPs del Fideicomiso CVU (Obligaciones Negociables calificadas AAA.uy). Un CREMAF de transporte replicaría esta estructura con riesgo financiero manejable para el sistema bancario local. Los costos de financiamiento son menores que los de la alternativa PPP, y mayor al de Obra Pública.	Financiamiento privado. Cierre financiero para la obra civil por parte del privado complejo. El volumen de CIPs para el LRT excedería la capacidad de absorción del sistema bancario local. Requeriría participación de bancos internacionales o multilaterales para el descuento de los títulos. Los costos de financiamiento son menores que los de la alternativa PPP, y mayor al de Obra Pública.	Financiamiento privado. Cierre financiero para la obra civil por parte del privado extremadamente complejo. El volumen de CIPs para el Metro es incompatible con la capacidad del sistema financiero uruguayo. El CREMAF no escala a este nivel sin una participación masiva de financiamiento externo que desnaturaliza el instrumento. Los costos de financiamiento son menores que los de la alternativa PPP, y mayor al de Obra Pública.
	Impacto fiscal	Impacto fiscal medio-alto. El subsidio presupuestal diferido del CREMAF reduce el impacto fiscal inmediato respecto a la Obra Pública, pero genera compromisos de PPD-O por 10 años que deben presupuestarse. Perfil manejable.	Impacto fiscal alto. Los compromisos de pago plurianuales son significativos y deben incluirse en el análisis de espacio fiscal. La extensión del plazo de mantenimiento más allá de 10 años aumentaría el impacto.	Impacto fiscal extremadamente alto. El impacto fiscal del CREMAF para el Metro converge con el de la Obra Pública o la PPP en magnitud, sin ofrecer las ventajas de transferencia de riesgo de la PPP ni la simplicidad de la Obra Pública.
	Asignación de riesgos	El CREMAF adaptado transfiere al privado el riesgo de construcción y de cierre financiero, mientras el Estado retiene el riesgo de demanda y asume el pago diferido de mantenimiento (PPD-O) por 10 años.	La asignación de riesgos transfiere construcción y financiamiento de la obra civil, pero el riesgo de integración de sistemas ferroviarios y el de operación especializada quedan asignados al Estado. Además, el plazo de	Asignación de riesgos no escalable, con un riesgo de colocación de los CIPs en el mercado. La complejidad de interfaces y de operación converge con la de una PPP compleja sin ofrecer su transferencia integral de riesgo. El CREMAF pierde su



Modalidad Contractual	Variable	BRT	LRT	Metro Lógico
		Para el BRT es una asignación equilibrada, donde replica la lógica probada del CREMAF vial y mantiene el riesgo financiero dentro de la capacidad de absorción de la banca local.	mantenimiento de 10 años no cubre la vida útil ferroviaria, dejando al Estado un riesgo residual de conservación de largo plazo.	lógica y no es recomendable para el Metro.

B. Fuentes de financiamiento

El financiamiento de proyectos o reformas vinculadas a los sistemas de transporte público puede estructurarse de distintas maneras, dependiendo de las entidades u organismos competentes, las características del proyecto y los actores involucrados. En muchos casos, estos esquemas combinan diversas fuentes de recursos y mecanismos de participación pública, privada o internacional. En base al estudio *"Fondeo y financiamiento del transporte público en América Latina y el Caribe"*, las fuentes de financiamiento pueden clasificarse según el origen de los recursos o el tipo de actor que los provee, distinguiéndose tres grandes categorías:

- Financiamiento con recursos públicos.
- Financiamiento privado.
- Financiamiento proveniente de entidades multilaterales.

Al igual que la selección de la/las modalidad/es contractual/es, los esquemas de financiamiento deberán ser estudiados en forma detallada en las siguientes etapas del proceso de los estudios del sistema de transporte para el AMM. Si bien se dispone de fondos para las primeras etapas de estudios por parte de organismos multilaterales de crédito, a continuación, se presenta los instrumentos más utilizados en este tipo de proyectos y los organiza de acuerdo con la categoría de financiamiento a la que pertenecen. En el *Anexo 3 – Fuentes de financiamiento* se lista las principales que se podrán aplicar al proyecto en sus distintas modalidades.

Desde el punto de vista financiero, la alternativa BRT, al ser la de menor inversión inicial reduce la necesidad de estructuras financieras complejas. Su financiamiento puede apoyarse principalmente en recursos públicos (presupuestos plurianuales y créditos de bancos de desarrollo), complementados con créditos con garantía soberana de la banca multilateral para la infraestructura y la adquisición de flota.



A mayor nivel de CAPEX y complejidad técnica de las alternativas evaluadas, la estructuración financiera podría requerir esquemas más sofisticados, basados en la combinación de diversas fuentes de financiamiento.

La posibilidad de ejecución por etapas de las inversiones o la mayor segmentación de contratos favorecen esquemas de financiamiento de menor riesgo, en los que la participación privada puede limitarse a algunos de los componentes, por ejemplo a la ejecución de las obras civiles o a la provisión y renovación de flota.

El carácter eléctrico de los sistemas, en cualquiera de las alternativas analizadas, habilita el acceso a los denominados esquemas de financiamiento verde, como bonos sostenibles y/o a fondos climáticos, que pueden financiar componentes vinculados a la reducción de emisiones y a la eficiencia energética, mejorando las condiciones globales de crédito.



5.5. Impacto ambiental y sustentabilidad

La evaluación ambiental constituye uno de los elementos centrales en la comparación de alternativas de transporte masivo, particularmente en un contexto de transición energética y de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el desempeño ambiental de una tecnología no depende únicamente de las emisiones generadas durante su operación, sino también de los impactos asociados a la construcción de la infraestructura, la fabricación de vehículos y equipos, el consumo energético durante la vida útil del sistema y su interacción con el entorno urbano.

Por este motivo, el presente análisis incorpora una perspectiva amplia de sustentabilidad, considerando tanto los impactos ambientales directos como aquellos asociados a la implementación del proyecto. Para ello se evalúan tres dimensiones principales: (i) emisiones de CO₂ durante la construcción y operación; (ii) emisiones locales contaminantes: gases, generación de ruido y vibraciones; y (iv) potencial de integración con estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental.

El objetivo no es únicamente identificar la alternativa con menores emisiones operacionales, sino también comprender los beneficios y compromisos ambientales asociados a cada tecnología a lo largo de su ciclo de vida, permitiendo una comparación más equilibrada entre sistemas BRT, LRT y Metro Ligero.

5.5.1. Emisiones de CO₂ durante la construcción y operación

Este criterio busca comparar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), expresados como dióxido de carbono equivalente (CO₂e), generados a lo largo del ciclo de vida del sistema de transporte. Una evaluación completa de emisiones de carbono de proyectos de infraestructura de transporte suele realizarse mediante metodologías, como por ejemplo el Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés), las cuales consideran todas las etapas asociadas al desarrollo, operación y disposición final de los activos. De acuerdo con la clasificación establecida por la norma DIN EN 15978 (CEN, 2012), estas emisiones se distribuyen en diferentes fases que incluyen: la producción y transporte de materiales, la construcción e instalación de la infraestructura, la operación, mantenimiento y reposición de activos durante su vida útil, la etapa de fin de vida, demolición y disposición final, así como los beneficios potenciales derivados de la reutilización o reciclaje de materiales. Sin embargo, la aplicación rigurosa de esta metodología requiere un nivel de detalle del proyecto el cual no se encuentra disponible



en la presente etapa del proyecto. Sin embargo, aunque el nivel de detalle de esas metodologías extrapola el alcance del presente estudio, sirven como marco conceptual para un análisis más general.

Por ello se consideran dos componentes principales para realizar la comparación de alternativas de este estudio: (i) **las emisiones asociadas a la construcción** de la infraestructura y fabricación de los activos principales, y (ii) **las emisiones derivadas de la operación** del sistema durante su vida útil.

Las **emisiones de construcción** incluyen principalmente la producción y transporte de materiales como concreto y acero, el uso de maquinaria pesada, los movimientos de tierra y las actividades constructivas requeridas para la implementación de la infraestructura. Por su parte, **las emisiones de operación** dependen fundamentalmente de la fuente de energía utilizada por el sistema, así como de la eficiencia energética de los vehículos y equipos.

Desde la perspectiva ambiental, la incorporación de una flota eléctrica en sistemas BRT elimina completamente las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos asociados a la combustión de combustibles fósiles, incluyendo material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx). En consecuencia, la principal fuente de emisiones asociada a la operación del sistema corresponde a las emisiones indirectas derivadas de la generación de la energía eléctrica consumida por los vehículos (*upstream emissions*). En el caso de Uruguay, este impacto resulta particularmente reducido debido a la elevada participación de fuentes renovables en la matriz eléctrica nacional, lo que convierte a la electrificación del transporte en una medida altamente efectiva para la descarbonización del sector.

- **BRT :** A diferencia de otros sistemas tipo BRT, este proyecto captura un importante beneficio ambiental al considerar desde su inicio la incorporación de flota 100% eléctrica para la operación, eliminando en su total la generación de GEI a nivel local durante la operación de los autobuses. La segunda fuente relevante de impacto ambiental corresponde a la construcción de la infraestructura. En este aspecto, existe una evaluación específica desarrollada por FADU (2025) para el proyecto del PTTMM, la cual considera la ejecución superficial de los restantes corredores, estimando una generación de entre 167 mil y 226 mil toneladas de CO2 equivalente para la construcción e implementación del proyecto. Si bien estas obras generan emisiones asociadas al consumo de materiales, maquinaria y transporte, la intensidad constructiva requerida por una solución BRT continúa siendo relativamente reducida en comparación con sistemas ferroviarios. Asimismo, los plazos estimados de construcción, del orden de dos años,



contribuyen a disminuir la concentración de las emisiones acumuladas durante la fase de implementación del proyecto.

- **LRT:** Al igual que la alternativa BRT eléctrica, los sistemas LRT operan mediante tracción eléctrica, por lo que no generan emisiones locales de GEI ni contaminantes atmosféricos durante la operación. En consecuencia, su desempeño ambiental durante la fase operacional depende principalmente de la intensidad de carbono de la matriz eléctrica utilizada para su abastecimiento. En el contexto uruguayo, caracterizado por una alta participación de energías renovables, este tipo de sistemas puede alcanzar niveles muy bajos de emisiones asociadas al consumo energético. Además de las diferencias de consumo energético, las principales diferencias respecto al BRT se presentan durante la fase de construcción. Los sistemas LRT requieren una infraestructura más intensiva en materiales, incluyendo plataforma ferroviaria, sistemas de electrificación, subestaciones, sistemas de control y mayores áreas construidas para estaciones, talleres y edificios técnicos. Como resultado, la huella de carbono asociada a la construcción suele ser superior a la de una solución BRT equivalente. Asimismo, los plazos de implementación suelen ser mayores debido a la complejidad de las obras y de la instalación de los sistemas ferroviarios.
- **Metro Ligero subterráneo:** La alternativa Metro Ligero comparte con el LRT las ventajas asociadas a la tracción eléctrica, eliminando las emisiones locales de GEI y contaminantes atmosféricos durante la operación. Sin embargo, desde la perspectiva ambiental, la principal diferencia radica en la intensidad constructiva de la infraestructura requerida. Al tratarse de una solución completamente segregada y predominantemente subterránea, la construcción de túneles y estaciones representa una de las actividades con mayor huella de carbono dentro del sector transporte. Diversos estudios internacionales muestran que entre el 60% y el 80% de las emisiones iniciales de un túnel provienen exclusivamente de la producción y transporte de concreto y acero utilizados en revestimientos estructurales, refuerzos y obras auxiliares (Spyridis y Bergmeister, 2024). Adicionalmente, los procesos constructivos asociados a excavaciones profundas, tuneladoras (TBM), sistemas de ventilación temporal, bombeo y manejo de materiales demandan importantes cantidades de energía y combustibles durante la fase de obra.

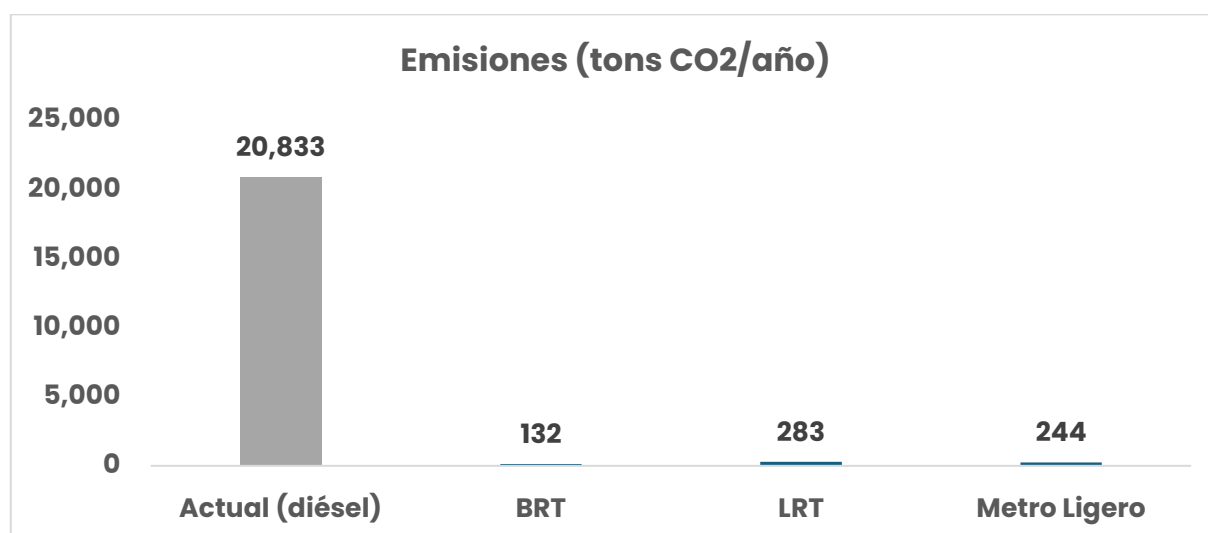


Tabla 61. Estimación preliminar del consumo energético y las emisiones de CO₂ por modo de transporte analizado

Sistema	Omnibús 12m	BRT Biarticulado	LRT Tram	Metro Ligero Tren eléctrico
Consumo energético vehículos de combustión interna (km km/l)	2,5			
Consumo energético vehículos eléctricos (kWh/km)		1,56	4,19	6,72
Consumo anual diesel (litros)	7.773.425,32			
Consumo anual (kWh)		11.808.951	25.275.588	21.803.452
Emisiones (tons CO ₂ /año)	20.833	132	283	244

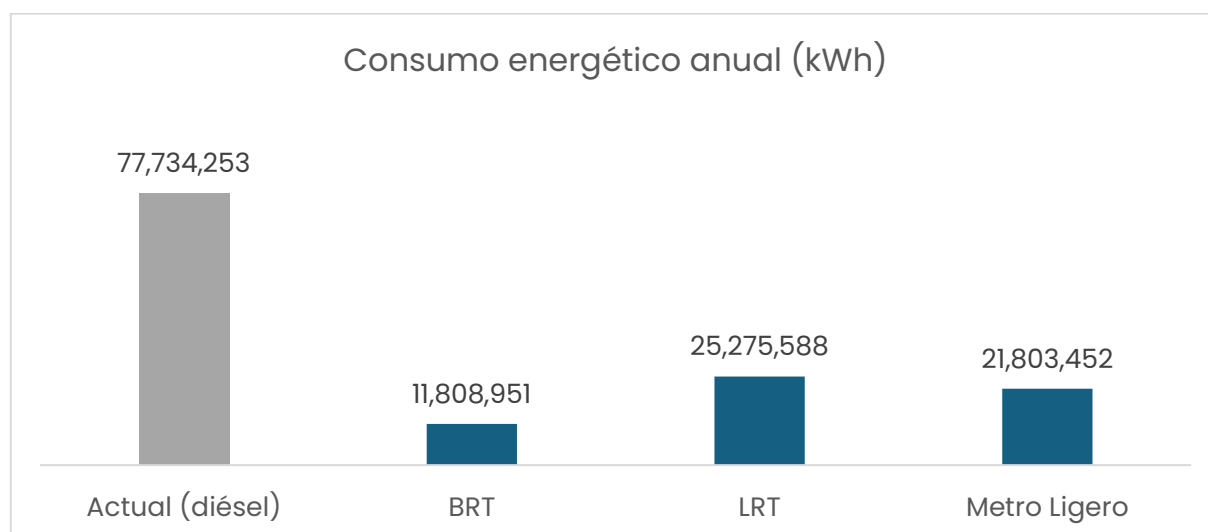
Fuente: Elaboración propia, con base en DNE. Estudio del Consumo de Energía del Sector Transporte, 2008 y IMM: Observatorio de Movilidad de Montevideo, Consumo de energía por tipo de vehículo y combustible.

Gráfica 13. Estimación de emisiones de CO₂ anuales por modo de transporte analizado



Fuente: Elaboración propia, con base en DNE. Estudio del Consumo de Energía del Sector Transporte, 2008 y IMM: Observatorio de Movilidad de Montevideo, Consumo de energía por tipo de vehículo y combustible.



Gráfica 14. Estimación de consumo energético anual por modo de transporte analizado

Fuente: Elaboración propia, con base en DNE. Estudio del Consumo de Energía del Sector Transporte, 2008 y IMM: Observatorio de Movilidad de Montevideo, Consumo de energía por tipo de vehículo y combustible.

Tabla 62. Evaluación de potencial emisión de gases de efecto invernadero (CO₂)

	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Etapas de construcción	Baja: La menor intensidad constructiva por menor volumen de obra civil y requerimientos de materiales, concentrado principalmente en los tramos soterrados y estaciones.		
Etapas de operación	Muy bajo. Las emisiones de 132 t/año de CO2 al año, lo que representa una reducción del 99,7% respecto al sistema actual.		
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Etapas de construcción	Medio-Bajo: Intensidad constructiva, media por el mayor volumen de obra civil y requerimientos de materiales, concentrado principalmente en los tramos soterrados y estaciones, sistemas de vías y sistemas eléctricos.		
Etapas de operación	Muy bajo. Las emisiones de 283 t/año de CO2 al año, lo que representa una reducción del 98,7% respecto al sistema actual.		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			



Etapas de construcción	Muy alto: Intensidad constructiva alta por los requerimientos de materiales y de construcción del 100% de la infraestructura soterrada y elevados requerimientos de estaciones, sistemas de vías y sistemas eléctricos
Etapas de operación	Muy bajo. Las emisiones de 244 t/año de CO ₂ al año, lo que representa una reducción del 98,8% respecto al sistema actual.

5.5.2. Contaminantes locales: Gases criterio, vibraciones y ruidos

Este criterio evalúa los impactos ambientales y urbanos asociados a la emisión de contaminantes atmosféricos locales, así como a la generación de ruido y vibraciones durante la operación de los sistemas de transporte. A diferencia de las emisiones de gases de efecto invernadero, cuyos efectos son de carácter global, estos impactos se manifiestan directamente sobre la calidad ambiental de los corredores, afectando la salud, el bienestar y la calidad de vida de la población ubicada en su entorno inmediato.

En materia de calidad del aire, se consideran principalmente los denominados gases criterio y contaminantes locales, entre los que destacan el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), los óxidos de nitrógeno (NOx), los óxidos de azufre (SOx), el monóxido de carbono (CO) y otros compuestos derivados de la combustión de combustibles fósiles. Dado que las tres alternativas evaluadas utilizan tracción eléctrica, no se prevén emisiones directas de estos contaminantes durante la operación, constituyendo una mejora sustancial respecto a la situación actual del sistema de transporte metropolitano basado principalmente en vehículos diésel. No obstante, se reconoce que seguirán existiendo emisiones indirectas asociadas al desgaste de neumáticos, frenos y la resuspensión de partículas presentes en las vías, aunque estas son considerablemente menores que las emisiones generadas por la combustión de combustibles fósiles en vehículos convencionales.

Por otra parte, los impactos asociados al ruido y las vibraciones presentan diferencias más relevantes entre tecnologías. Así mismo, en el caso particular de los sistemas subterráneos, los impactos acústicos percibidos en superficie tienden a reducirse significativamente; sin embargo, el control de vibraciones constituye un aspecto relevante del diseño y construcción de túneles y estaciones, especialmente en entornos urbanos consolidados donde existen edificaciones sensibles o patrimonio construido.

- **BRT.** Los autobuses eléctricos presentan ventajas significativas en términos de ruido y vibraciones. La ausencia de motores de combustión reduce considerablemente la contaminación acústica, especialmente durante las fases de arranque y aceleración, mientras que las vibraciones transmitidas al entorno



urbano son menores que las observadas en sistemas ferroviarios. Como resultado, la alternativa BRT eléctrica presenta un desempeño ambiental altamente favorable, tanto por sus reducidas emisiones operacionales como por su menor huella constructiva y sus beneficios sobre la calidad ambiental urbana.

- **LRT.** En materia de ruido y vibraciones, los sistemas LRT presentan un comportamiento intermedio. Si bien los vehículos eléctricos eliminan el ruido asociado a motores de combustión, la interacción rueda-riel genera emisiones acústicas y vibraciones que pueden percibirse localmente, especialmente en curvas, cambios de vía y zonas con velocidades elevadas. Estos efectos pueden mitigarse mediante soluciones de diseño de vía, sistemas antivibratorios y tratamientos acústicos, pero continúan siendo una consideración relevante desde el punto de vista ambiental.
- **Metro ligero.** En términos de ruido y vibraciones, la operación subterránea reduce significativamente los impactos percibidos en superficie. Sin embargo, el ruido generado por el tránsito de los trenes suele ser percibido por los pasajeros y puede llegar a ser relevante en estaciones subterráneas sin puertas de andén y en trazos con curvas pronunciadas. Adicionalmente, los sistemas ferroviarios continúan generando vibraciones transmitidas por la infraestructura, razón por la cual los proyectos de metro incorporan habitualmente medidas de mitigación desde las etapas de diseño y construcción para proteger edificaciones y actividades sensibles ubicadas en el entorno. De manera similar, la interacción rueda-riel genera ruido operacional que debe ser controlado mediante soluciones específicas de diseño y mantenimiento de la vía.

Tabla 63. Evaluación de generación de contaminantes locales

	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Alternativa a nivel de calle	Bajo: Bajas emisiones de gases, ruido y vibraciones		
Alternativa a desnivel			Muy bajo: Las pocas emisiones de ruido y vibraciones quedan contenidas por la infraestructura soterrada
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			



Alternativa a nivel de calle	Medio-bajo: Sin emisiones de Gases Locales. El ruido es un factor relevante en el entorno, las vibraciones deben majearse para no generar impactos en el entorno	
Alternativa a desnivel		Bajo: Las emisiones de ruido y vibraciones quedan contenidas por la infraestructura (se requiere de sistemas de contención de vibraciones).
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m		
Alternativa a desnivel	Bajo: Sin emisiones de Gases Locales. Las emisiones de ruido y vibraciones quedan contenidas por la infraestructura (se requiere de sistemas de contención de vibraciones).	

5.5.3. Integración con estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental

Este criterio evalúa la capacidad de cada alternativa para integrarse y potenciar intervenciones urbanas orientadas a la mejora ambiental, la adaptación al cambio climático y el aumento de la resiliencia urbana. Más allá de la función de transporte, los proyectos de movilidad pueden constituirse en plataformas para la incorporación de infraestructura verde, soluciones basadas en la naturaleza y estrategias de gestión sostenible del espacio público.

En el caso del PTTMM, el anteproyecto desarrollado por FADU (2025) ya incorpora una serie de medidas de sostenibilidad ambiental asociadas a la transformación urbana de los corredores. Entre ellas destacan estrategias de **captura de carbono mediante reforestación y ampliación de áreas verdes, sistemas de drenaje urbano sostenible y jardines de absorción, gestión ambiental de residuos de construcción, incremento de superficies permeables y acciones orientadas a la mitigación de islas de calor urbanas.**

Dado que estas intervenciones se encuentran principalmente asociadas al rediseño urbano y a la recuperación del espacio público, y no dependen directamente de la tecnología de transporte seleccionada, las tres alternativas evaluadas presentan oportunidades similares para su implementación. En consecuencia, tanto el BRT eléctrico como las alternativas LRT y Metro Ligero pueden beneficiarse de manera equivalente de las estrategias ambientales previstas en el proyecto, compartiendo un potencial



comparable para contribuir a objetivos de sostenibilidad urbana, adaptación climática y mejora de la calidad ambiental de los corredores metropolitanos.

Tabla 64. Evaluación de potencial de integración con estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental

	Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Muy alto. Una intervención de esta magnitud genera la posibilidad implementar infraestructura verde y urbanismo sostenible de forma integral.			
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Muy alto. Una intervención de esta magnitud genera la posibilidad implementar infraestructura verde y urbanismo sostenible de forma integral.			
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Muy alto. Una intervención de esta magnitud genera la posibilidad implementar infraestructura verde y urbanismo sostenible de forma integral.			



5.6. Impacto urbano y social

La implementación de un sistema de transporte masivo no se limita a su función operativa de trasladar personas de un punto a otro, sino que constituye una intervención estructural que influye en las dinámicas urbanas. Dada su interacción directa con el espacio público y el entorno construido, estas infraestructuras modifican patrones ambientales, económicos y sociales de la ciudad, convirtiéndose en herramientas con capacidad de incidir en el ordenamiento territorial, la equidad y el tejido urbano existente.

Los impactos derivados de estas intervenciones se manifiestan tanto en el entorno inmediato del corredor como en la estructura urbana en una escala más amplia. A nivel local, influyen en las condiciones de accesibilidad, el diseño del espacio público y la configuración de la calle. Al mismo tiempo, la magnitud y características de la infraestructura condicionan la integración urbana del sistema, pudiendo fortalecer la conectividad entre sectores de la ciudad o, por el contrario, generar efectos de barrera sobre las dinámicas barriales. Asimismo, los corredores estructurales pueden consolidarse como nuevos referentes urbanos e hitos de identidad metropolitana, particularmente cuando incorporan intervenciones integrales de espacio público, paisajismo y diseño arquitectónico. De igual forma, las mejoras en accesibilidad y conectividad pueden inducir transformaciones urbanas de mayor alcance a largo plazo, incluyendo cambios en las densidades, los usos del suelo y los procesos de valorización inmobiliaria en torno al corredor.

5.6.1. Desarrollo Orientado al Transporte

La implementación de corredores estructurales de transporte público puede generar procesos de transformación urbana que incidan en la dinamización de las actividades en el entorno, lo cual puede resultar también en procesos de valorización del suelo dentro de sus áreas de influencia. Estos efectos suelen asociarse a mejoras en la accesibilidad, conectividad y tiempos de viaje, particularmente en entornos próximos a estaciones y corredores de alta capacidad. Pero también es importante no dejar de lado potenciales efectos negativos de la eventual elevación del valor del suelo, como la expulsión de residentes de menores ingresos y de comercio popular.

Para canalizar y potenciar esta dinámica, la planificación urbana contemporánea incorpora enfoques de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), entendidos como modelos de desarrollo urbano compacto que promueven la mezcla de usos del suelo (residencial, comercial e institucional) y la consolidación de entornos peatonales



accesibles alrededor de estaciones y corredores de transporte público (Sarmiento y Clerc, 2016; ITDP, 2017). La mejora en la accesibilidad derivada de estos sistemas puede incrementar el atractivo urbano de determinadas áreas al facilitar el acceso a empleo, servicios y equipamientos, estimulando la demanda inmobiliaria y comercial y, en consecuencia, incrementos en los valores del suelo (ITDP, 2017; Gwilliam, 2002).

Sin embargo, la experiencia latinoamericana muestra que gran parte de las áreas próximas a estaciones de transporte masivo ya presentan altos niveles de consolidación urbana y una disponibilidad limitada de suelo vacante. Esto implica que las estrategias de DOT suelen depender principalmente de procesos de redesarrollo y transformación urbana sobre tejidos existentes, más que de expansiones urbanas completamente nuevas

En este contexto, las dinámicas de mercado por sí solas no necesariamente garantizan procesos de transformación urbana integrales. La intensidad y orientación de estos impactos dependen también de factores regulatorios, de las condiciones del mercado inmobiliario local y de la existencia de instrumentos de gestión urbana que permitan orientar el desarrollo asociado al corredor. Entre ellos se encuentran ajustes normativos de uso del suelo, estrategias de densificación, incentivos a fachadas activas, reformulación de políticas de estacionamiento (reducción de requerimientos mínimos, implementar máximos y estrategias de estrategias tarifarias de estacionamiento) e instrumentos de captura de valor que permitan reinvertir parte de las plusvalías generadas en mejoras urbanas y mitigación de potenciales procesos de desplazamiento de población (Rodríguez & Vergel Tovar, 2013).

Asimismo, los efectos sobre la valorización del suelo suelen variar según las características del sistema de transporte implementado. Factores como la capacidad del sistema, la confiabilidad operacional, la percepción de permanencia de la infraestructura y el nivel de certidumbre respecto a la continuidad del corredor pueden influir en los incentivos para la inversión inmobiliaria y en la magnitud de los procesos de transformación urbana de largo plazo (Rodríguez & Vergel Tovar, 2013).

- **BRT:** Históricamente, los sistemas BRT fueron percibidos como modos con menor capacidad para inducir procesos de DOT, debido a la flexibilidad de su infraestructura y a una menor percepción de permanencia en comparación con los sistemas ferroviarios. No obstante, experiencias como Curitiba evidencian que estos corredores pueden actuar como catalizadores de redensificación y transformación urbana cuando se articulan con instrumentos de gestión urbana y políticas de uso de suelo orientadas a concentrar densidades y actividades



alrededor de los ejes troncales (ITDP, 2017; Rodríguez y Vergel Tovar, 2013), con características funcionales y físicas iguales o equivalentes a los sistemas LRT.

- **LRT:** Los sistemas LRT suelen asociarse a procesos de regeneración urbana y reconfiguración del espacio público a escala barrial, particularmente en corredores con vocación peatonal y comercial. Su integración en superficie, menores niveles de ruido que los sistemas de autobuses de combustión interna y compatibilidad con entornos urbanos consolidados mediante la accesibilidad de los vehículos de cama baja y las estaciones abiertas, puede favorecer modelos de DOT orientados a densidades medias, mezcla de usos y fortalecimiento de centralidades urbanas locales. Asimismo, la presencia permanente de infraestructura ferroviaria y estaciones tiende a generar mayores niveles de certidumbre para la inversión privada, incentivando procesos de renovación inmobiliaria y redesarrollo urbano en áreas próximas a las estaciones (UITP, 2019; Zamorano, et al, 2006).
- **Metro:** Debido a su elevada capacidad de transporte y fuerte impacto sobre la accesibilidad metropolitana, los sistemas de metro suelen inducir procesos de transformación urbana de gran escala y altas densidades constructivas alrededor de estaciones y nodos de intercambio. En diversos contextos internacionales, el desarrollo orientado al metro se ha articulado mediante esquemas de captura de valor del suelo y modelos de desarrollo conjunto entre infraestructura ferroviaria y proyectos inmobiliarios. Estos mecanismos permiten aprovechar la valorización generada por la accesibilidad del sistema para financiar parcialmente la infraestructura, promoviendo al mismo tiempo procesos de verticalización, concentración de actividades y consolidación de nuevas centralidades urbanas alrededor de las estaciones (World Bank, 2012).

Tabla 65. Evaluación de potencial de Desarrollo Orientado al Transporte

Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Troncal Común 18 de Julio
BRT - Biarticulado 25m	
Alto potencial de transformación urbana. El corredor ofrece oportunidades para inducir nuevos viajes, incrementar la accesibilidad y consolidar procesos de activación urbana, revitalización barrial y redensificación. Estas transformaciones dependen en gran medida de su articulación con instrumentos de gestión del suelo y políticas de desarrollo urbano.	
Tranvía /Tren Ligero - Tram 5 módulos 33 m	



Alto potencial de transformación urbana. El corredor ofrece oportunidades para inducir nuevos viajes, incrementar la accesibilidad y consolidar procesos de activación urbana, revitalización barrial y redensificación. Estas transformaciones dependen en gran medida de su articulación con instrumentos de gestión del suelo y políticas de desarrollo urbano.

Metro Lógico – Tren 3 vagones 55m

Muy alto potencial de transformación y estructuración urbana. Debido al alto impacto de la infraestructura, puede incentivar procesos de transformación, reconstrucción, redensificación, consolidación de nuevas centralidades y desarrollo de polos económicos de mayor intensidad en torno a estaciones y nodos de intercambio.

5.6.2. Permeabilidad del corredor

La implementación de corredores de transporte masivo puede generar impactos importantes sobre las dinámicas urbanas y barriales, particularmente cuando la infraestructura prioriza la continuidad operacional de los flujos vehiculares sobre la permeabilidad urbana y la movilidad peatonal. En estos casos puede producirse el denominado “efecto barrera”, fenómeno que ocurre cuando vialidades de alta capacidad o infraestructuras de transporte dificultan la conectividad transversal y generan divisiones físicas y psicológicas entre sectores de la ciudad (Anciaes et al., 2016).

Estas condiciones pueden afectar la cohesión social, modificar las dinámicas cotidianas de los barrios y aumentar las distancias o dificultades de desplazamiento para usuarios no motorizados, incluyendo peatones, ciclistas, infancias, personas mayores y personas con discapacidad. Por ello, el diseño de corredores estructurales debe buscar un equilibrio entre la eficiencia operativa del transporte público y la garantía de condiciones adecuadas de accesibilidad, conectividad y circulación transversal segura (Anciaes et al., 2016; ITDP, 2017).

En este contexto, soluciones tradicionalmente utilizadas para mantener la continuidad del flujo vehicular, como puentes peatonales o pasos a desnivel o la eliminación de cruces peatonales, no necesariamente resuelven estas problemáticas de integración urbana. En muchos casos, estas infraestructuras pueden incrementar los tiempos y esfuerzos de desplazamiento peatonal, particularmente cuando presentan problemas de accesibilidad universal, condiciones deficientes de seguridad o recorridos indirectos (Anciaes et al., 2016). Asimismo, este tipo de soluciones suele trasladar la carga del cruce seguro hacia las personas usuarias más vulnerables, priorizando la continuidad de los flujos vehiculares sobre la movilidad peatonal.

Por ello, la evaluación de alternativas modales para corredores estructurales debe considerar no únicamente aspectos de capacidad y operación, sino también la forma en



que cada sistema interactúa físicamente con el espacio urbano y con las dinámicas de movilidad transversal a escala barrial y peatonal.

- **BRT:** Su infraestructura presenta mayor flexibilidad en comparación con los sistemas ferroviarios. Sin embargo, cuando no existe el debido cuidado en la fase de diseño, la presencia de segregadores laterales, barreras continuas e infraestructura de estaciones en el centro de la vialidad puede generar interrupciones en la conectividad transversal del entorno urbano, particularmente cuando los cruces peatonales son limitados o se concentran únicamente en determinados puntos del corredor. Dependiendo de su configuración, también puede generar efectos de barrera y restricciones a la conectividad transversal.
- **LRT:** Una de las características principales de los LRT en superficie, es su capacidad de para integrarse al entorno urbano. Sin embargo, estos beneficios dependen principalmente de las características del diseño operacional del corredor y del proyecto arquitectónico de estaciones y entorno, por lo que no constituyen una ventaja inherente de la tecnología, ni frente a los sistemas de autobuses o BRT. Dependiendo de su configuración, también puede generar efectos de barrera y restricciones a la conectividad transversal.
- **Metro:** Las implicaciones urbanas del metro dependen significativamente de su configuración constructiva. En condiciones de soterramiento, las afectaciones sobre la conectividad superficial son mínimas, ya que el sistema libera el espacio en superficie para otros usos urbanos y peatonales. En configuraciones elevadas, la presencia de columnas, estructuras de soporte y elementos de protección puede generar afectaciones parciales a la permeabilidad urbana y a los flujos peatonales. Por otro lado, los sistemas de metro a nivel representan el nivel más crítico de barrera urbana, ya que requieren segregación total de la vía para garantizar condiciones seguras de operación, lo que genera impactos significativos sobre la conectividad transversal y las dinámicas urbanas de las áreas donde son implementados.



Tabla 66. Evaluación de permeabilidad del corredor

Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado		Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel	Efecto de barrera urbana medio. La presencia de carriles segregados, estaciones centrales y cruces controlados puede reducir parcialmente la conectividad transversal del corredor, al concentrar los cruces peatonales en puntos específicos y aumentar las distancias de recorrido.		
Solución a desnivel		Sin efecto de barrera urbana. Las afectaciones sobre la conectividad superficial son mínimas, ya que la operación del sistema ocurre fuera del nivel de calle y libera la superficie para otros usos urbanos y peatonales.	
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel	Efecto de barrera urbana medio. La plataforma ferroviaria y los requerimientos de seguridad operacional pueden generar restricciones puntuales a la conectividad transversal.		
Solución a desnivel		Sin efecto de barrera urbana. Las afectaciones sobre la conectividad superficial son mínimas, ya que la operación del sistema ocurre fuera del nivel de calle y libera la superficie para otros usos urbanos y peatonales.	
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m			
Solución a desnivel	Sin efecto de barrera urbana. Las afectaciones sobre la conectividad superficial son mínimas, ya que la operación del sistema ocurre fuera del nivel de calle y libera la superficie para otros usos urbanos y peatonales.		



5.6.3. Espacio público e impacto visual

Las intervenciones para la implementación de corredores de transporte transforman el paisaje, la configuración física y las dinámicas del entorno urbano, ya que interactúan directamente con el espacio público y con la experiencia cotidiana de la ciudad, generando impactos visuales y espaciales que modifican la percepción y apropiación del territorio por parte de sus usuarios. En este contexto, el diseño de la infraestructura asociada, como estaciones, plataformas, señalización, mobiliario urbano y elementos de integración peatonal, juega un papel relevante en la imagen urbana del corredor y de la ciudad misma (Sarmiento y Clerc, 2016; ITDP, 2017b).

La concepción del proyecto de manera integral, mediante intervenciones de reurbanización “de fachada a fachada”, favorece a que el transporte público se convierta en una herramienta de regeneración urbana, contribuyendo a mejorar la calidad del espacio público, las condiciones de accesibilidad y la vitalidad de la calle.

Para ello, el sistema de transporte debe planificarse también como una extensión de la red de espacios públicos de la ciudad, lo que implica reconfigurar la calle para que funcione no solo como un canal de movilidad, sino también como un espacio orientado a la interacción social, el intercambio económico y la convivencia urbana. En este contexto, priorizar la caminabilidad, la articulación con otros modos de transporte, la conectividad ciclista y la incorporación de infraestructura verde permite mejorar la experiencia urbana, favorecer la activación de las plantas bajas y fortalecer la cohesión comunitaria (Sarmiento y Clerc, 2016).

En contraste, enfoques centrados exclusivamente en criterios técnicos u operativos, sin una adecuada consideración de la escala humana y del contexto urbano, pueden derivar en afectaciones al paisaje urbano y en la incorporación de elementos con alta intrusión visual o baja integración con el entorno. Infraestructuras de gran escala, particularmente aquellas elevadas o con altos niveles de segregación física, pueden generar percepciones de fragmentación urbana si aspectos como su diseño, materialidad, integración paisajística y relación con el espacio público no son abordados de manera adecuada. Estos elementos influyen directamente en la percepción de calidad, seguridad y confort del sistema y de su entorno urbano inmediato.

Asimismo, las obras asociadas a la implementación de la infraestructura representan una oportunidad para mejorar el entorno urbano, las condiciones de accesibilidad y la calidad del espacio público, lo cual favorece la integración urbana y a una mayor apropiación social del sistema.



- **BRT:** Los sistemas BRT de alta capacidad requieren carriles exclusivos, segregadores físicos y estaciones centrales, lo que genera una presencia visual significativa sobre el corredor urbano. El impacto visual del sistema depende en gran medida del diseño e implantación de las estaciones, ya que estas constituyen los elementos de mayor escala dentro de la infraestructura del corredor. En sistemas de sin carril de rebase y plataforma baja, las estaciones presentan los menores impactos. Asimismo, la incorporación excesiva de elementos publicitarios, barreras opacas o pantallas pueden incrementar la percepción de saturación visual y reducir la permeabilidad visual del espacio público (ITDP, 2017).

Si el proyecto se desarrolla exclusivamente desde una lógica funcional de movilidad, limitándose al confinamiento de carriles, las oportunidades de mejora urbana suelen ser limitadas. Sin embargo, cuando el corredor es concebido como una intervención integral de espacio público, el BRT puede incorporar elementos de infraestructura verde, paisajismo, arbolado y superficies permeables en separadores centrales y áreas peatonales, contribuyendo a mejorar la calidad paisajística y ambiental del corredor y mitigar efectos asociados a la isla de calor urbana (Ministério das Cidades, 2016). Asimismo, el diseño arquitectónico de estaciones y mobiliario urbano puede reforzar la identidad visual del sistema y su integración con la imagen urbana de la ciudad, como el caso de Curitiba y sus estaciones tubulares, pueden consolidarse como referentes visuales asociados al sistema de transporte (ITDP, 2017; Zamora-Colín et al., 2013).

- **LRT:** El LRT presenta una alta capacidad para integrarse al espacio urbano y contribuir a procesos de regeneración urbanística en centros históricos y corredores comerciales. Al operar sobre rieles en superficie, permite incorporar cobertura vegetal y reducir la presencia visual dominante del asfalto. No obstante, el principal impacto visual de estos sistemas proviene de la infraestructura aérea de alimentación eléctrica, particularmente postes, tensores y catenarias, que pueden generar saturación visual en corredores estrechos o patrimoniales (ALAMYS y ANPTrilhos, 2018).

En casos especiales en donde sean requeridos pasos elevados para los trenes o vehículos privados, el LRT puede generar afectaciones visuales significativas sobre el paisaje urbano. La presencia de viaductos y estructuras de soporte puede reducir la escala peatonal y generar una fuerte dominancia visual sobre la calle, particularmente en corredores densos. Experiencias internacionales muestran que este tipo de infraestructura puede producir efectos de fragmentación espacial y percepción de encierro en el espacio público (Gwilliam, 2002; Zamorano et al., 2006).



Las estaciones de LRT suelen configurarse como plataformas abiertas o semiabiertas integradas al espacio público, favoreciendo mayores niveles de accesibilidad e integración peatonal. La tendencia predominante es el uso de plataformas bajas alineadas con el piso del vehículo, reduciendo la presencia física de la infraestructura y facilitando la continuidad con las banquetas y áreas peatonales, con un resultado semejante a los sistemas de autobuses de piso bajo.

- **Metro:** Durante su fase operativa, los sistemas de metro soterrados presentan un impacto visual reducido o prácticamente nulo sobre el paisaje superficial, ya que la infraestructura de circulación permanece segregada en el subsuelo. En estos casos, la interacción visual con el entorno urbano se concentra principalmente en los accesos peatonales, vestíbulos, ventilaciones y edificaciones técnicas asociadas al sistema. Los accesos a estación suelen requerir estructuras de aproximadamente 3 m de ancho, aunque sus dimensiones varían en función del diseño arquitectónico y de los flujos esperados de pasajeros. Dependiendo de su configuración, estos elementos pueden integrarse de manera discreta al entorno urbano o incorporarse en plazas, edificios y otros espacios públicos existentes.

Tabla 67. Evaluación del impacto visual

Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado		Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel	Impacto visual moderado. La implantación del corredor genera impacto presencia visual debido a la escala de los vehículos (25 m), la segregación física de carriles y la existencia de estaciones centrales y laterales. No obstante, este efecto puede mitigarse mediante el diseño arquitectónico, la integración paisajística y la selección adecuada de materiales.		
Solución a desnivel		Impacto visual muy bajo. La infraestructura de circulación se encuentra fuera del nivel de calle, limitando las afectaciones visuales principalmente a rampas de transición, accesos peatonales y elementos de soporte estructural.	
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel	Impacto visual moderado. La operación sobre rieles permite la integración de cobertura vegetal o “vías verdes” a lo largo del		



	corredor. La implantación del corredor tiene requerimientos semejantes en a los del BRT en estaciones. Su principal impacto visual se asocia a la instalación de postes, cables y catenarias para el suministro eléctrico aéreo.	
Solución a desnivel		Impacto visual muy bajo. La infraestructura de circulación se encuentra fuera del nivel de calle, limitando las afectaciones visuales principalmente a rampas de transición, accesos peatonales y elementos de soporte estructural.
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m		
Solución a desnivel	Impacto visual muy bajo. Al operar mediante infraestructura soterrada, las afectaciones sobre el paisaje urbano durante la fase operativa son mínimas. La huella superficial se limita principalmente a accesos, elevadores, ventilaciones y otros elementos auxiliares, los cuales pueden integrarse de manera discreta al entorno urbano.	

Tabla 68. Evaluación del potencial de mejora del espacio público

Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado		Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel	Alto. Las estaciones a nivel y centrales pueden generar barreras y modificar los usos del espacio público. Sin embargo, el rediseño integral de la vialidad, brindando oportunidades para la recualificación del espacio público y la incorporación de infraestructura verde.		
Solución a desnivel		Muy alto. La infraestructura de circulación se encuentra fuera del nivel de calle, por lo que permite mantener los usos de espacio público en superficie y hacer mejoras a su configuración	
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel	Alto. Las estaciones a nivel y centrales pueden generar barreras y modificar los usos del espacio público. Sin embargo, el rediseño integral de la vialidad, brindando oportunidades para la		



	recualificación del espacio público y la incorporación de infraestructura verde.	
Solución a desnivel		Muy alto. La infraestructura de circulación se encuentra fuera del nivel de calle, por lo que permite mantener los usos de espacio público en superficie y hacer mejoras a su configuración
Metro Ligerio – Tren 3 vagones 55m		
Solución a desnivel		Muy alto. La infraestructura de circulación se encuentra fuera del nivel de calle, por lo que permite mantener los usos de espacio público en superficie y hacer mejoras a su configuración

5.6.4. Impacto en actividades comerciales

Los tiempos de construcción y de instalación de infraestructura pueden alterar significativamente las dinámicas económicas urbanas, siendo las actividades comerciales de comercios pequeños y medianos unas de las más vulnerables frente a las obras. Los cierres viales y desvíos de tránsito no solo restringen el acceso peatonal y vehicular a los establecimientos, sino que la presencia de maquinaria y equipos también dificulta la logística de abastecimiento y distribución de mercancías. Estas afectaciones, sumadas a la disminución temporal de la calidad del entorno urbano, suelen traducirse en reducciones temporales de ventas y de actividad económica para los comercios adyacentes al corredor (TCQSM, 2013).

En el caso de Montevideo, estas afectaciones también pueden impactar sobre las dinámicas económicas y sociales asociadas a las ferias vecinales y mercados de proximidad, los cuales constituyen componentes relevantes de la economía barrial y de la cohesión social urbana. Dentro del área de influencia (500 m) de los corredores analizados se identifican 63 ferias, correspondientes a 27 ferias alimentarias, 12 no alimentarias y 24 periferias, las cuales podrían verse afectadas temporalmente por las obras y restricciones operacionales asociadas a la implementación de los corredores (Intendencia de Montevideo, 2025b). La operación de estas actividades depende en gran medida de la accesibilidad peatonal, la disponibilidad temporal del espacio público y la conectividad con los barrios a los que prestan servicio, por lo que las restricciones asociadas a la construcción de los corredores pueden generar afectaciones temporales tanto sobre su funcionamiento como sobre las dinámicas económicas locales vinculadas a ellas. Estos efectos negativos pueden ser mitigados mediante estrategias



para la reducción de tiempos de construcción y de gestión comercial, que permitan reducir los impactos sociales negativos y mantener la viabilidad de los proyectos.

Una vez superada la fase de construcción, la entrada en operación de un corredor de transporte masivo puede revertir parte de estas externalidades temporales y generar impactos económicos positivos de mediano y largo plazo sobre el entorno urbano. Las mejoras en accesibilidad y conectividad favorecen las dinámicas de movilidad de personas, mercancías y actividades económicas, produciendo efectos sobre el comercio, la productividad urbana y la estructura económica de las áreas de influencia del sistema (World Bank, 2017). Estos beneficios dependen directamente del éxito del proyecto como sistema de transporte y no directamente de la tecnología adoptada.

El incremento de accesibilidad y el mayor flujo peatonal asociado a estaciones suele traducirse en una mayor actividad económica en los corredores intervenidos. En distintos contextos internacionales, la operación de sistemas de transporte masivo ha contribuido a incrementar la demanda de locales comerciales, servicios y actividades económicas vinculadas al tránsito peatonal. Estas dinámicas pueden incentivar procesos de redesarrollo urbano y atraer inversiones orientadas a usos mixtos, comercio y servicios (World Bank, 2017; Yañez-Pagans et al, 2018).

A escala urbana, la mejora en los tiempos de viaje y la reducción de congestión pueden generar impactos positivos sobre la productividad económica de la ciudad al disminuir pérdidas de tiempo y costos asociados a la movilidad. Asimismo, la expansión de la cobertura y accesibilidad del sistema puede ampliar el acceso de la población a oportunidades laborales, educativas y de servicios urbanos. Estos efectos suelen ser particularmente relevantes para sectores de menores ingresos, para quienes los costos y tiempos de desplazamiento representan una barrera para el acceso al mercado laboral metropolitano.

- **BRT:** El sistema cuenta con tiempos de implementación relativamente cortos entre 1 y 2 años, lo que reduce la duración de las afectaciones económicas asociadas a la construcción y limita los periodos de interrupción sobre las actividades comerciales locales. Adicionalmente, la transición desde esquemas tradicionales de operación hacia sistemas BRT puede habilitar procesos de formalización laboral en el sector transporte, incorporando empleos asociados a operación, recaudo, control y gestión del sistema (ITDP, 2017).
- **LRT:** La construcción de sistemas LRT suele generar afectaciones económicas y operativas de intensidad media a alta durante periodos más prolongados debido a la instalación de infraestructura ferroviaria, generalmente entre 2 y 4 años. Estas



intervenciones pueden afectar significativamente la accesibilidad peatonal y logística de los comercios ubicados sobre el corredor y dentro del área de influencia durante la fase de obra, requiriendo estrategias de mitigación y gestión comercial específicas. Sin embargo, una vez en operación, el LRT cuenta con capacidad para dinamizar economías locales y favorecer procesos de revitalización urbana, lo que incrementa la actividad comercial y la demanda de servicios de proximidad en torno a estaciones y corredores (UITP, 2022).

- **Metro:** Presenta los tiempos de construcción más extensos entre las tecnologías analizadas, frecuentemente entre 3 y 5 años, dependiendo de la tipología constructiva y las condiciones geotécnicas del corredor, con riesgos importantes de presentar sobre plazos en todas las fases del proyecto. Una vez en operación, el principal beneficio económico del metro se relaciona con su capacidad para incrementar la productividad urbana a escala metropolitana mediante reducciones significativas en los tiempos de viaje y descongestión de corredores de alta demanda. Asimismo, la elevada concentración de pasajeros alrededor de estaciones favorece la consolidación de centralidades económicas, comercio de alta intensidad y procesos de integración inmobiliaria y comercial asociados a la propia infraestructura del sistema (UITP, 2022).

La evaluación de los impactos sobre las actividades económicas se concentra principalmente en la etapa de construcción de los proyectos, ya que es durante este período cuando las diferencias entre alternativas generan efectos directos y observables sobre las actividades y unidades económicas. Así mismo, los impactos económicos positivos esperados durante la etapa de operación dependen fundamentalmente del desempeño y éxito del sistema como solución de transporte; y no directamente de la tecnología específica adoptada.



Tabla 69. Evaluación de impactos en actividades comerciales en fase de implementación

	Corredor 8 de octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT - Biarticulado 25m			
Alternativa a nivel de calle	Medio: La obra se concentra al entro de la vialidad, afectando en menor medida a los locales comerciales. Afectaciones a dinámicas principalmente por la congestión vial. Menor plazo de afectación de las alternativas.		
Alternativa a desnivel			Muy Alto: El método constructivo genera afectaciones de pared a pared en plazos mayores a la obra superficial
Tranvía /Tren Ligero - Tram 5 módulos 33 m			
Alternativa a nivel de calle	Alto: La obra se concentra al entro de la vialidad, afectando en menor medida a los locales comerciales. Afectaciones a las dinámicas principalmente por la congestión vial. Mayor plazo de afectación que la alternativa BRT		
Alternativa a desnivel			Muy Alto: El método constructivo genera afectaciones de pared a pared en plazos mayores a la obra superficial
Metro Ligero - Tren 3 vagones 55m			
Alternativa a desnivel	Muy Alto: El método constructivo genera afectaciones de pared a pared en plazos mayores a la obra superficial		



5.7. Implementación y escalabilidad

Esta dimensión evalúa los factores asociados a la factibilidad y la facilidad de implementación, ampliación de capacidad y evolución tecnológica de los sistemas de transporte masivo. Este análisis tiene particular importancia para la toma de decisiones estratégicas, ya que determina la rapidez con la que se pueden percibir los beneficios y la resiliencia de la inversión a largo plazo. Combina, desde la perspectiva de su despliegue temporal, la flexibilidad para entrar en servicio de forma incremental y su capacidad para adaptarse a cambios futuros en la demanda o la tecnología. Algunos de los aspectos abordados en esta sección, retoman informaciones de los apartados de caracterización de cada modo, presentados en el capítulo 3, ahora analizados lado a lado para efectos de la evaluación comparativa.

5.7.1. Plazos de ejecución típicos

Este criterio analiza el horizonte temporal necesario desde el inicio de la planificación y estructuración financiera hasta la puesta en marcha operativa. Considera que plazos más cortos reducen la exposición a externalidades negativas de la fase de construcción y a riesgos políticos y permiten una respuesta más ágil para atender a las necesidades de movilidad que motivan la implementación de dichos sistemas.

- **BRT:** Se caracteriza por plazos reducidos, típicamente entre 18 y 36 meses para un corredor completo. Su planificación puede llevar de 12 a 18 meses y la construcción de 12 a 24 meses, dependiendo de la necesidad o no de obras especiales (túneles, viaductos, pasos a desnivel). Puede llegar a permitir su implementación dentro de un mismo período de gobierno.
- **LRT:** Presenta plazos considerablemente mayores, típicamente de 5 a 8 años. La complejidad de los estudios, la estructuración financiera (3 a 5 años), seguido por los procesos de instalación de infraestructura ferroviaria y electrificación, de entre 2 y 4 años, con elevados riesgos de extensión de plazos debido a los retrasos en la entrega de los suministros críticos y la ejecución de obra, que pueden extender el proceso a través de múltiples administraciones.
- **Metro:** Posee los plazos más extensos, acumulando frecuentemente entre 6 y 10 años o más, desde su planificación hasta la puesta en operación. Los procesos constructivos asociados a túneles o viaductos y sistemas electromecánicos complejos requieren tiempos de maduración muy elevados, pueden tomar entre 3 y 5 años. Los riesgos de presentarse sobre plazos son aún más elevados y ampliamente documentados, y se derivan de cambios en la ingeniería del



proyecto los retrasos en la entrega de los suministros críticos y la ejecución de obra, que pueden extender el proceso a través de múltiples administraciones.

Tabla 70. Evaluación de plazos de ejecución típicos

plazos de ejecución	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel	Bajo. Altamente favorable, con plazos reducidos de 18 a 24 meses para un corredor completo.		
Solución a desnivel		Medio: La necesidad de tramo de 3 km en túnel extiende los tiempos de construcción respecto a la solución a nivel	
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel	Medio / Alto. Horizonte típico de 5 y 8 años debido a la complejidad de estructuración financiera (3-5 años) y obra ferroviaria.		
Solución a desnivel		Medio / Alto. Similar al LRT a nivel, pero con procesos constructivos más extensos por la instalación de infraestructura ferroviaria en desnivel en un tramo de 3 km.	
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55 m			
Solución a desnivel	Alto. Los plazos más extensos, frecuentemente de 6 a 10 años o más, por la maduración de estudios y estructura financiera (3 a 5 años), así como instalación de sistemas electromecánicos y excavaciones complejas en toda o casi toda la extensión del corredor (3 a 5 años)		



5.7.2. Posibilidad de implementación por etapas

En este criterio se evalúa la flexibilidad del sistema para ser inaugurado en tramos funcionales o aumentar la oferta incrementalmente para alcanzar niveles de servicio progresivos sin necesidad de completar la totalidad de la infraestructura de la red.

- **BRT:** Alta flexibilidad. Permite una operación por fases, donde los ómnibus pueden circular en carriles segregados en tramos terminados, sea con retornos operacionales a mitad del trayecto del corredor o continuando en tráfico mixto en los tramos más periféricos¹⁵ (menos demandados y/o con menos demoras por congestión). La interrupción del carril exclusivo lejos de los patios y talleres no representa una barrera o impedimento a que el BRT opere normalmente, pues los buses pueden realizar los “trayectos muertos” (fuera de operación) fuera de la infraestructura segregada. Esto facilita la transición gradual del sistema actual al nuevo modelo.
- **LRT / Metro:** Flexibilidad limitada. Estos sistemas presentan longitudes mínimas de operación económicamente eficientes y requieren tener terminados talleres, patios y sistemas de energía y de comunicación para ser funcionales, lo que dificulta aperturas parciales de tramos de menor extensión que no ofrezcan un acceso más directo a esas infraestructuras. La flota necesita tener acceso a los patios y talleres (típicamente ubicados en áreas más periféricas) lo cual depende de la construcción de la infraestructura ferroviaria para conexión directa con condiciones de circulación del material rodante.

¹⁵ Esa segunda opción, operar en tráfico mixto, requiere soluciones híbridas con infraestructura provisoria de paradas fuera del carril exclusivo central, para lo cual debe evaluarse el costo marginal adicional vis-a-vis los beneficios de una implementación en fases.



Tabla 71. Evaluación de posibilidad de implementación por etapas

Posibilidad de implementación por etapas	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
Solución a nivel sin segregación total	Favorable. Alta flexibilidad. Permite una operación por fases.		
Solución totalmente segregada a desnivel			
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
Solución a nivel sin segregación total	Con restricciones. Rígida, requiere sistemas con longitudes mínimas de operación económicamente eficientes y requieren tener terminados talleres, patios y sistemas de energía y de comunicación para ser funcionales.		
Solución totalmente segregada a desnivel			
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55 m			
Conducción automatizada con segregación total	Con restricciones. Muy rígida; requiere de la obra civil concluida y segmentos continuos y sistemas de comunicación/patios terminados para ser funcional.		

5.7.3. Ampliación de la capacidad y la cobertura (Escalabilidad)

Otro factor clave para considerar una perspectiva de largo plazo en la toma de decisión es la capacidad del modo para incrementar su oferta y cobertura ante crecimientos de la demanda o necesidades de expansión de la red. Esa característica es importante no sólo por una cuestión de aumentar el sistema gradualmente frente a incrementos de demanda esperados en horizontes futuros, pero también como atributo de resiliencia y flexibilidad para adaptar la capacidad y la cobertura de la red en función de incertidumbres inherentes a las dinámicas urbanas, que pueden seguir trayectorias de desarrollo diferentes a los escenarios previstos inicialmente. Los sistemas que permiten mayor capacidad de respuesta para adaptarse a condiciones no previstas en la distribución geográfica y en la evolución temporal de la demanda representan una fortaleza para la planificación y la gestión de ciudades.

- **BRT:** Es altamente escalable mediante infraestructura modular. La capacidad puede incrementarse añadiendo bahías de parada en estaciones, o añadiendo carriles de sobrepaso para servicios expresos. En los casos en donde no exista la posibilidad de incorporar carriles de sobrepaso, los BRTs presentan un límite



máximo de capacidad entre 11.000–13.000 pasajeros por hora por sentido utilizando buses biarticulados (ver apartado 5.2.1). Para alcanzar capacidades más elevadas, se requieren carriles de rebase para servicios expresos, asociados a estaciones multimodulares, pero esas intervenciones eventualmente pueden implicar en costos más significativos si se requieren expropiaciones en lugares donde el ancho de vía no sea suficiente para carriles de sobrepaso.

En situaciones o servicios en que el sistema opere inicialmente con flota de menor porte, también se puede ampliar la capacidad del sistema con la incorporación de buses de mayor capacidad nominal (por ejemplo, biarticulados).

- **Metro / LRT:** La ampliación de capacidad del LRT, cuya capacidad oscila entre 5.000 y 12.000 phs, y del metro ligero, con capacidad aproximada de 15.300 phs, es posible mediante el acoplamiento de más vagones o la modernización de los sistemas de señalización para reducir los intervalos, pero está estrictamente condicionada por el diseño inicial de la longitud de los andenes y las condiciones de maniobra en patios, retornos y vías auxiliares que soporten composiciones más largas. Las extensiones de red requieren inversiones intensivas en vías, sistemas de electrificación y sistemas de control.



Tabla 72. Evaluación de escalabilidad

Escalabilidad	Corredor 8 de Octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m			
BRT a nivel	Altamente favorable. Escalable mediante infraestructura modular y aumento de capacidad del material rodante (biarticulados)		
BRT a desnivel		Favorable. Permite aumentar la flota, aunque la ampliación física de estaciones soterradas es más costosa y compleja	
Tranvía / Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m			
A nivel	Intermedio. Condicionada por el diseño inicial de la longitud de andenes y las distancias de maniobra en patios para trenes más largos		
A desnivel		Intermedio/Rígido. Las extensiones de red exigen inversiones intensivas en vías y electrificación; infraestructura física permanente	
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55 m			
A desnivel	Intermedio/Rígido. Mayor potencial de capacidad nominal, pero con alta rigidez física ante cambios en la demanda o expansiones no previstas		



5.8. Aspectos institucionales y de gobernanza

La implementación y operación de sistemas de transporte masivo requieren marcos institucionales y de gobernanza capaces de coordinar múltiples actores, competencias y escalas territoriales. La toma de decisiones en movilidad urbana involucra distintos niveles de gobierno, organismos sectoriales, operadores de transporte, actores financieros y agentes privados vinculados al desarrollo urbano y la provisión de infraestructura. En este contexto, la coordinación interinstitucional resulta fundamental para articular las políticas de movilidad, uso del suelo e inversión pública, así como para asegurar la sostenibilidad operativa y financiera de los sistemas en el largo plazo.

Sin embargo, la implementación de corredores estructurales suele enfrentar importantes desafíos asociados a la fragmentación administrativa y a la superposición de atribuciones entre organismos y jurisdicciones. En muchas áreas metropolitanas, los gobiernos nacionales, subnacionales y municipales mantienen competencias concurrentes sobre infraestructura, regulación del transporte, tránsito, planificación urbana y espacio público, lo que puede generar conflictos institucionales, desarticulación operativa y demoras en la ejecución de proyectos. La evidencia internacional muestra que estas dificultades de coordinación constituyen uno de los principales factores de riesgo para la implementación y sostenibilidad de sistemas de transporte masivo.

5.8.1. Gestión institucional

La implementación y operación de sistemas de transporte público de alta capacidad requiere capacidades institucionales específicas para la planificación, regulación, supervisión contractual, gestión financiera y control operativo. Las limitaciones en capacidades técnicas, la fragmentación administrativa y la superposición de competencias pueden afectar el desempeño y la sostenibilidad de los proyectos de transporte masivo.

Uno de los principios más extendidos en la organización institucional de los sistemas de transporte masivo consiste en diferenciar las funciones de planificación, regulación y supervisión de aquellas vinculadas con la operación de los servicios (ITDP, 2017). Esta separación busca reducir potenciales conflictos de interés y facilitar mecanismos de control sobre la calidad, eficiencia y cumplimiento de los servicios. Bajo este esquema, las administraciones públicas conservan la responsabilidad sobre la definición de políticas, la gestión de la infraestructura y la regulación del sistema, mientras que la



operación puede ser realizada por organismos públicos, empresas estatales o concesionarios privados (ITDP, 2017; Díaz et al., 2018).

Las ciudades han adoptado distintos arreglos institucionales para administrar estos sistemas. En algunos casos, las funciones son asumidas por organismos gubernamentales preexistentes, mientras que en otros se crean entidades especializadas encargadas de la planificación, gestión contractual, administración tarifaria y supervisión operativa del sistema. La elección entre ambos enfoques depende de factores como las capacidades institucionales existentes, la escala del proyecto y el grado de transformación requerido en el sector transporte.

En cuanto a la provisión del servicio, este puede desarrollarse mediante esquemas de gestión directa, a través de operadores públicos o privados, manteniéndose en todos los casos la responsabilidad pública sobre la definición de objetivos, estándares de calidad y mecanismos de supervisión (Díaz et al., 2018; Yañez-Pagans et al., 2018; Gwilliam, 2002).

- **BRT:** Su esquema institucional se caracteriza por una separación relativamente clara entre las funciones públicas de regulación y control, y la operación comercial de los servicios, generalmente concesionada a operadores privados mediante contratos diferenciados para flota, recaudo y otros componentes operativos. Esta configuración permite una mayor flexibilidad administrativa y menores barreras institucionales de implementación en comparación con los sistemas ferroviarios (ITDP, 2017).
- **LRT:** Requiere mayores niveles de coordinación técnica y administrativa debido que mezcla los requerimientos internos de gestión de los sistemas ferroviarios y la interacción con el espacio urbano, la infraestructura ferroviaria. Como otros sistemas ferroviarios, usualmente estos sistemas la creación de una nueva empresa que gestione los activos y la operación de una manera tecnificada y con autonomía suficiente. Su implementación suele apoyarse en autoridades metropolitanas de transporte o esquemas de coordinación interinstitucional, así como en modelos concesionales o asociaciones público-privadas que definen la estructura institucional del proyecto y del sistema. Asimismo, la gestión tiende a estructurarse mediante contratos basados en indicadores de desempeño y calidad operacional, porque buscan dar certidumbre a la recuperación de las inversiones más que la optimización del servicio y los costos de operación (Zamorano et al., 2006).



- **Metro:** Debido a la magnitud de las inversiones y la complejidad de la infraestructura, su administración suele recaer en empresas públicas de gran escala o entidades corporativizadas con autonomía técnica y administrativa. A diferencia de otros modos, el metro frecuentemente opera bajo esquemas “encapsulados” en donde una misma entidad administra infraestructura, operación y mantenimiento, aunque algunos sistemas incorporan mecanismos de separación funcional y regulación independiente para supervisar estándares de seguridad, tarifas y obligaciones de servicio público (Zamorano et al., 2006).

Tabla 73. Evaluación de requerimientos de estructura institucional

Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m		
Bajo. Puede gestionarse mediante esquemas institucionales relativamente simples, con separación entre regulación pública y operación concesionada, requiriendo menores niveles de especialización técnica y administrativa.		
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m		
Alto. Requiere mayores capacidades de coordinación interinstitucional y gestión de infraestructura ferroviaria, así como mecanismos especializados de supervisión y control operacional.		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m		
Muy alto. Demanda estructuras institucionales robustas, capacidades técnicas altamente especializadas y organismos con capacidad para administrar infraestructura compleja, seguridad operacional y mantenimiento de largo plazo.		

5.8.2. Gobernanza

El desarrollo de sistemas de transporte público masivo involucra inversiones de capital de gran escala que, en muchos casos, superan las capacidades presupuestales y técnicas exclusivas de los gobiernos locales. En consecuencia, la gobernanza de estos proyectos requiere mecanismos de coordinación con actores externos vinculados al financiamiento, provisión tecnológica, construcción de infraestructura, suministro de material rodante y operación especializada del sistema.

A diferencia de la gestión institucional interna, esta dimensión de la gobernanza se relaciona con la estructuración de esquemas de coordinación y contratación entre



actores públicos y privados, así como con la distribución de responsabilidades técnicas, operativas y financieras del proyecto. En este contexto, la articulación entre las partes resulta relevante para la definición de mecanismos de financiamiento, asignación de riesgos, estándares tecnológicos y sostenibilidad operativa de largo plazo.

- **BRT:** La gobernanza de los sistemas BRT suele estructurarse mediante un organismo gestor, un proceso de construcción con contratos independientes, un contrato principal para la prestación del servicio de transporte y una serie de contratos de servicios conexos (como los sistemas de recaudo, ITS, etc.). Los contratos de operación suelen tener horizontes relativamente cortos o intermedios (aproximadamente entre 7 y 15 años), asociados a la vida útil de los autobuses y equipos tecnológicos. Esta estructura permite mayores niveles de flexibilidad contractual, competencia entre proveedores y menores niveles de dependencia tecnológica respecto a un único fabricante o integrador del sistema.
- **LRT:** Los sistemas LRT requieren estructuras contractuales más complejas debido a los mayores costos de la infraestructura y equipamiento. Su implementación suele desarrollarse mediante concesiones integrales o asociaciones público-privadas de largo plazo (frecuentemente entre 25 y 40 años), estructuradas a través de consorcios conformados por constructoras, fabricantes ferroviarios, operadores y entidades financieras. Asimismo, estos sistemas generan mayores niveles de dependencia tecnológica y contractual respecto a los proveedores originales, particularmente en componentes de señalización, electrificación, repuestos y mantenimiento especializado, lo que puede incrementar los costos de largo plazo y reducir la flexibilidad operativa futura.
- **Metro ligero:** La gobernanza del metro involucra esquemas de contractuales de muy alta complejidad y escalas de inversión que generalmente requieren participación de organismos multilaterales, banca de desarrollo y financiamiento soberano. Debido a la magnitud de la infraestructura y a la especialización tecnológica requerida, estos proyectos suelen estructurarse mediante contratos y esquemas concesionales de muy largo plazo (frecuentemente superiores a 30 años), con mecanismos complejos de distribución de riesgos entre actores públicos y privados, lo cual implica una baja capacidad de incidir al interior de las empresas conformadas para la implementación y operación de estos proyectos. En algunos casos, los modelos financieros incorporan mecanismos complementarios de captura de valor urbano, explotación inmobiliaria o



desarrollo orientado al transporte para contribuir parcialmente a la sostenibilidad económica del sistema.

Tabla 74. Evaluación de complejidad de estructuras de gobernanza

Corredor 8 de octubre – Camino Maldonado	Corredor Italia – Giannattasio	Troncal Común 18 de Julio
BRT – Biarticulado 25m		
Bajo. Requiere la coordinación entre entidades públicas y operadores privados para la provisión de flota, recaudo y otros servicios. Sin embargo, la cantidad de actores involucrados y los niveles de dependencia tecnológica suelen ser relativamente limitados, favoreciendo una gobernanza más flexible.		
Tranvía /Tren Ligero – Tram 5 módulos 33 m		
Medio – alto . Requiere la articulación de múltiples actores públicos y privados, incluyendo constructoras, fabricantes ferroviarios, operadores y entidades financieras. La dependencia de proveedores especializados y los contratos de largo plazo incrementan la complejidad de gobernanza.		
Metro Ligero – Tren 3 vagones 55m		
Muy alto. Involucra la coordinación de un amplio conjunto de actores públicos, privados y financieros, incluyendo organismos multilaterales, banca de desarrollo, proveedores tecnológicos, operadores especializados y gobierno nacional. La magnitud de las inversiones y la duración de los contratos incrementan significativamente la complejidad de gobernanza del proyecto.		



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, este documento de 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 sintetizan 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 tres alternativas convergen hacia un sistema de transporte de bajas emisiones, aunque presentan diferencias en sus impactos ambientales locales y constructivos

La evaluación ambiental realizada muestra que las tres alternativas analizadas comparten un elemento fundamental: la electrificación de la operación. Como consecuencia, todas permiten eliminar prácticamente la totalidad de las emisiones locales asociadas a la combustión de combustibles fósiles, reduciendo significativamente la emisión de contaminantes atmosféricos que afectan la salud pública y mejorando la calidad ambiental de los corredores. Asimismo, considerando la elevada participación de fuentes renovables en la matriz eléctrica uruguaya, las tres alternativas presentan niveles muy reducidos de emisiones de gases de efecto



invernadero durante la operación, alcanzando reducciones cercanas al 99% respecto a sistemas convencionales basados en combustibles fósiles.

No obstante, existen diferencias en los impactos ambientales locales. Los sistemas BRT eléctricos presentan ventajas en términos de ruido y vibraciones debido a la utilización de neumáticos y menores cargas por eje, mientras que los sistemas ferroviarios generan impactos asociados a la interacción rueda-riel y a la transmisión de vibraciones a través de la infraestructura. Adicionalmente, las alternativas ferroviarias presentan una mayor huella ambiental durante la fase de construcción debido a los mayores volúmenes de obra civil, acero, concreto e infraestructura especializada requeridos para su implementación.

7. La transformación urbana constituye una oportunidad estratégica independiente de la tecnología seleccionada.

La magnitud de las intervenciones previstas en los corredores analizados genera una oportunidad única para la renovación integral del espacio público, la mejora de la accesibilidad universal y la incorporación de estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental.

Las actuaciones planteadas en el marco del proyecto, incluyendo la renovación completa de las secciones viales, la mejora de veredas y espacios peatonales, la incorporación de infraestructura verde, sistemas de drenaje urbano sostenible, reforestación y medidas de adaptación climática, pueden desarrollarse de manera compatible con cualquiera de las alternativas tecnológicas evaluadas.

No obstante, las alternativas superficiales (por ejemplo, en los casos analizados de BRT y LRT) generan mayores impactos visuales y una mayor ocupación permanente del espacio vial debido a la presencia de estaciones, plataformas, sistemas de electrificación y equipamientos operacionales. Por su parte, las soluciones soterradas (como una alternativa de Metro Ligero completamente soterrada) reducen significativamente estos efectos y favorecen una mayor permeabilidad transversal de los corredores, aunque a costa de mayores requerimientos constructivos y de inversión. En consecuencia, la elección tecnológica no determina por sí sola la capacidad de transformación urbana del proyecto, mientras que la solución constructiva sí influye directamente en la forma en que dicha transformación se integra con el espacio público y con la estructura urbana existente.



8. Los costos de implementación y operación favorecen a las alternativas BRT, mientras que los sistemas ferroviarios requieren mayores recursos durante todo su ciclo de vida.

Los resultados obtenidos confirman que la alternativa BRT presenta los menores costos de inversión y operación entre las tecnologías analizadas, en línea con la evidencia observada en experiencias internacionales comparables.

Los sistemas ferroviarios pueden ofrecer mayores niveles de confiabilidad cuando se implementan sobre infraestructura totalmente exclusiva. Sin embargo, cuando los sistemas basados en buses operan en infraestructura totalmente exclusiva, son capaces de ofrecer niveles de confiabilidad similares. Asimismo, la percepción de los usuarios respecto del servicio suele ser más favorable en comparación con otros modos de transporte. Ambas características están estrechamente asociadas a las condiciones de infraestructura y al equipamiento requeridos para su implementación. Estas diferencias no solamente impactan en el CAPEX inicial, sino también en los costos recurrentes de operación y mantenimiento. En consecuencia, el costo total de propiedad del sistema tiende a ser menor en las soluciones basadas en autobuses eléctricos.

9. Los sistemas ferroviarios requieren esquemas de implementación, financiamiento y gobernanza de mayor complejidad.

Las diferencias entre alternativas no se limitan a los aspectos tecnológicos o de inversión, sino que también alcanzan los modelos de implementación y gestión requeridos para su desarrollo.

Como se mencionó a lo largo del análisis, los sistemas ferroviarios presentan mayores desafíos de integración entre sus distintos componentes. Como consecuencia, estos proyectos suelen requerir esquemas contractuales más complejos, mayores plazos de preparación y estructuración, así como mecanismos de asignación de riesgos más sofisticados. En la práctica internacional es frecuente la utilización de esquemas de asociación público-privada o contratos integrados que transfieren parte de los riesgos de diseño, construcción y desempeño al sector privado.

Adicionalmente, el mayor volumen de inversión asociado a estas alternativas implica compromisos presupuestales de largo plazo, mayores necesidades de financiamiento y procesos de autorización más complejos. En un contexto fiscal desafiante para Uruguay, el incremento de las necesidades de recursos públicos eleva el grado de complejidad para su implementación.



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 75. Resumen de resultados de la evaluación de criterios para las alternativas tecnológicas: BRT y LRT implementación en superficie; Metro 100% soterrado

Criterios de evaluación		Tramo
		Tipología constructiva
5. 1 Factibilidad Técnica, Física y Operacional	5.1.1 Disponibilidad de espacio (secciones)	SIN carriles adicionales
		+ 1 Carril mixto por sentido
		+ 2 Carril mixto por sentido
	5.1.2 Requerimientos de infraestructura	Requerimientos de obra civil
	5.1.3 Densidad de cruces vehiculares y peatonales	Impacto en proyecto: Desempeño, seguridad vial y fase constructiva.
	5.1.4 Nodos especiales / casos particulares	Nodo Tres Cruces
		Integración modal y de entorno
		Intersecciones críticas
	5.2.1 Capacidad nominal	Holgura / margen de crecimiento de la demanda
	5.2.2 Puntualidad y regularidad	Nivel de servicio
5.2 Desempeño Operacional	5.2.3 Tiempos de espera	Tiempo máximo en función de intervalo de diseño (hora pico)
	5.2.4 Velocidad	¿Hay incremento en función de velocidad actual?
	5.2.5 Complejidad operacional	Complejidad de la operación en función del esquema de rutas
	5.3.1 Cambios en patrones de transbordo	Impacto en patrones de viaje por tiempos de caminatas de transferencia
	5.3.2 Reestructuración de líneas	Dificultar de ajustar rutas alimentadoras y remanentes
5.3 Impacto con el sistema de transporte actual	5.3.3 Participación de operadores existentes	Posibilidad de reconversión de operadores y mano de obra
	5.3.4 Flexibilidad y resiliencia operativa	Capacidad de continuar el servicio
	5.4.1 CAPEX	Costo total de implementación
	5.4.2 OPEX	Costo anual de operación
5.4 Aspectos económicos	5.4.3 TCO	Costo total de propiedad
	5.5.1 Emisiones de CO ₂	Etapas de construcción
	5.5.3 Generación de contaminantes locales	Etapas de operación
5.5 Impacto ambiental y sustentabilidad	5.5.4 Estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental	Gases criterio, vibraciones, ruido
	5.6.1 Desarrollo Orientado al Transporte	Potencial de integración
	5.6.2 Permeabilidad del corredor	Potencial de Desarrollo Orientado al Transporte
	5.6.3 Espacio público e impacto visual	Efecto de barrera urbana
5.6 Impacto urbano y social	5.6.4 Impacto en actividades comerciales	Impacto visual
	5.7.1 Plazos de ejecución	Potencial de mejora del espacio público
	5.7.2 Implementación por etapas	Impacto en fase de implementación
	5.7.3 Ampliación de la capacidad y cobertura	Duración de los plazos de ejecución
5.7 Implementación y escalabilidad	5.8.1 Gestión institucional	Posibilidad de implementación por etapas
	5.8.2 Gobernanza	Potencial de escalabilidad
5.8 Aspectos institucionales y de gobernanza	5.8.1 Gestión institucional	Requerimientos de estructura institucional
	5.8.2 Gobernanza	Complejidad de la estructura de gobernanza

BRT		
Biarticulado 25m		
Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
Superficial	Superficial	Superficial
Suficiente		
Suficiente con espacios críticos	Suficiente	Suficiente con espacios críticos
Insuficiente	Suficiente con espacios críticos	Insuficiente
Básico		
8 de Oct: Medio - Alto	Av. Italia: Bajo	18 de Julio: Inadecuado
Con Maldonado: Medio	Giannattassio - Bajo	-
Elevado		
Bajo		
Bajo (2 intersecciones)	Medio - 4 intersecciones	NA - no hay casos
Suficiente con margen de crecimiento		
Regular	Bueno	Baja
Óptimo	Óptimo	Óptimo
Mejoras por derecho de vía exclusivo	Mejoras por derecho de vía exclusivo	Semejante a situación actual
Media		Alta
Intermedio		Bajo
Intermedia	Baja	Alta
Alta		
Media - Alta		Media
\$575 USD Millones		
\$43 USD Millones/año		
\$1.043 USD millones		
Baja		
Muy bajo		
Bajo		
Muy alto		
Alto		
Medio		
Moderado		
Alto		
Medio		
Bajo		
Favorable		
Altamente favorable		
Bajo		
Bajo		

LRT Tranvía		
Tram 5 módulos 33 m		
Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
Superficial	Superficial	Superficial
Suficiente		
Suficiente con espacios críticos	Suficiente	Suficiente con espacios críticos
Insuficiente	Suficiente con espacios críticos	Insuficiente
Medio		
8 de Oct: Medio - Alto	Av. Italia: Bajo	18 de Julio: Inadecuado
Con Maldonado: Medio	Giannattassio - Bajo	-
Muy elevado		
Bajo		
Bajo (2 intersecciones)	Medio - 4 intersecciones	NA - no hay casos
Suficiente con margen de crecimiento		Suficiente con poco margen
Regular	Buena	Baja
Óptimo	Aceptable	Óptimo
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
\$1.544 USD Millones		
\$68 USD Millones/año		
\$2.095 USD millones		
Medio -bajo		
Muy bajo		
Medio -bajo		
Muy alto		
Alto		
Medio		
Moderado		
Alto		
Alto		
Medio - alto		
Con restricciones		
Intermedio		
Alto		
Medio - alto		

Metro Ligero		
Tren 3 vagones 55m		
Corredor 8 de Octubre - Camino Maldonado	Corredor Italia - Giannattassio	Troncal Común 18 de Julio
Soterrado	Soterrado	Soterrado
NA		
NA		
Suficiente		Suficiente con espacios críticos
Muy elevado		
8 de Oct:Medio	Av. Italia: bajo	18 de Julio: Medio
Con. Maldonado: bajo	Av. Italia: bajo	-
Muy elevado		
Medio		Muy elevado
NA	Medio	NA
Suficiente con margen de crecimiento		
Muy buena		
Aceptable	Inadecuado	Aceptable
Óptimo, sin interferencias		
Baja		
Alto	Muy Alto	Intermedio
Baja		
Baja		
Muy alta		
\$5.034 USD Millones		
\$103 USD Millones/año		
\$ 5.167 USD millones		
Muy alto		
Muy bajo		
Bajo		
Muy alto		
Muy alto		
Sin efecto		
Muy bajo		
Muy alto		
Muy alto		
Con restricciones altas		
Intermedio - rígido		
Muy alto		
Muy alto		

Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes



Tabla 76. Resumen de escalas de evaluación de criterios

Escala		<< Mejor desempeño		Peor desempeño >>	
5.1.1 Disponibilidad de espacio (secciones)	Suficiencia de sección vial	Suficiente		Suficiente con espacios crítico	Insuficiente
5.1.2 Requerimientos de infraestructura	Requerimientos de obra civil	Básico		Medio - adicionales puntuales	Elevado - aspectos adicionales por tecnología Muy elevado - aspectos adicionales por tecnología
5.1.3 Densidad de cruces vehiculares y peatonales	Impacto en proyecto: Desempeño, seguridad vial y fase constructiva	Bajo		Medio	Medio - Alto Alto
5.1.4 Nodos especiales / casos particulares	Dificultad de la obra	básico		Medio - adicionales puntuales	Elevado - aspectos adicionales por tecnología Muy elevado - 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 capacidad		Capacidad suficiente con 5%-20 % de holgura de capacidad	Capacidad suficiente sin holgura de capacidad (0 - 5%) Capacidad insuficiente
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	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 Muy alta



Escala		<< Mejor desempeño		Peor desempeño >>		
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 o penaliza patrones de viaje	Alto – Modifica patrones y penaliza patrones de viaje	Muy Alto – Modifica y penaliza patrones de viaje.
5.3.2 Reestructuración de líneas	Dificultar de ajustar rutas alimentadoras y remanentes	Baja – Altamente asimilable		Intermedia – Red compatible con requerimientos operativos y de infraestructura	Alta – Requiere diferenciación de rutas integradas, con restricciones de espacio y complejidad operacional	
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	Baja
5.4.1 CAPEX	Inversión estimada por KM	< 25 USD Millones		\$25 a \$75 USD Millones	\$75 a \$150 USD Millones	>150 USD Millones
5.4.2 Vida útil	Estimado de la vida general de los activos principales	>40 años		30 a 40 años	15 a 20 años	<=10 años (actual)
5.4.1 CAPEX	Costo total de implementación	Costo base	Marginalmente mayor al costo base	Hasta 2X costo base	Hasta 3X costo base	> 3X costo base
5.4.2 OPEX	Costo anual de operación					
5.4.3 TCO	Costo total de propiedad (VPN)					
5.5.1 Emisiones de CO₂	Etapas de construcción	Muy bajo – Se elimina la totalidad o prácticamente la totalidad de emisiones	Bajo – Reducciones superiores al 70% de emisiones	Intermedio Reducciones entorno al 50% de emisiones	Alto Reducciones inferiores al 30% de emisiones	Muy Alto Reducciones marginales o sin reducción de emisiones
	Etapas de operación					
5.5.3 Contaminantes locales	Gases criterio, vibraciones, ruido					
5.5.4 Estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental	Potencial de integración	Muy alto	Alto	Intermedio	Bajo	Muy bajo
5.6.1 Desarrollo Orientado al Transporte	Potencial de DOT	Muy alto	Alto	Intermedio	Bajo	Muy bajo



Escala		<< Mejor desempeño		Peor desempeño >>		
5.6.2 Permeabilidad del corredor	Efecto de barrera urbana	Sin efecto barrera	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
5.6.3 Espacio público e impacto visual	Impacto visual	Muy bajo – Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	Potencial de mejora del espacio público	Sin impacto	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
5.6.4 Impacto en actividades comerciales	Impacto en fase de implementación	Sin impacto	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
5.7.1 Plazos de ejecución	Duración de los plazos de ejecución	Muy bajo – inmediato	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
5.7.2 Implementación por etapas	Posibilidad de implementación por etapas	Favorable		Con algunas restricciones / semirrígida	Con restricciones / rígido	Sin posibilidad
5.7.3 Ampliación de la capacidad y cobertura	Potencial de escalabilidad	Altamente favorable	Favorable	Intermedio	Rígido	Sin posibilidad
5.8.1 Gestión institucional	Requerimientos de estructura institucional	Muy bajo – Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
5.8.2 Gobernanza	Complejidad de la estructura de gobernanza	Muy bajo – Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Fuente: elaboración propia.



Índice de figuras

Tablas

Tabla 1. Síntesis territorial y de infraestructura de los corredores	36
Tabla 2. Resumen de características de cada tramo.....	83
Tabla 3. Parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo para la alternativa BRT.....	84
Tabla 4. Parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo para la alternativa Tren Ligerio.....	84
Tabla 5. Parámetros de cálculo y resultados del dimensionamiento operativo para la alternativa Metro.	85
Tabla 6. Requerimientos de demanda y oferta de los corredores metropolitanos para las diferentes alternativas modales analizadas.	87
Tabla 7. Características físico-funcionales de las alternativas modales analizadas	88
Tabla 8. Disponibilidad de espacios- Caracterización de Secciones viales (sin veredas)	93
Tabla 9. Evaluación de criterios de disponibilidad de espacio.....	93
Tabla 10. Análisis de criterios de requerimientos de infraestructura del corredor.....	95
Tabla 11. Análisis de criterios de requerimientos de infraestructura complementaria o de soporte	97
Tabla 12. Evaluación de criterios de requerimientos de infraestructura.....	98
Tabla 13. Distancia de frenado de emergencia por tipo de vehículo	101
Tabla 14. Número de cruces y distancias típica entre cruces en cada corredor.....	102
Tabla 15. Evaluación de criterios de densidad de cruces.....	102
Tabla 16 . identificación de nodos especiales y casos particulares de los corredores, y requerimientos de pendiente por alternativa.....	105
Tabla 17 . Características de las pendientes de diseño de rampas para cada alternativa	106
Tabla 18. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores (BRT)	106
Tabla 19. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores (LRT)	107
Tabla 20. Evaluación de nodos especiales y casos particulares de los corredores (Metro Ligerio)	108
Tabla 21. Evaluación de la capacidad nominal	111
Tabla 22. Análisis de parámetros asociados a la confiabilidad de cada modo de referencia.....	113



Tabla 23. Parámetros asociados a condicionantes para la confiabilidad para cada corredor	113
Tabla 24. Evaluación de factores clave de confiabilidad	114
Tabla 25. Evaluación de tiempo de espera	116
Tabla 26. Análisis de factores clave para la velocidad comercial	118
Tabla 27. Rangos de velocidades comerciales típicas de cada sistema ajustado por tipo de tramo en función de intersecciones y estaciones	118
Tabla 28. Rangos de velocidades comerciales actuales en cada corredor, según sus características	119
Tabla 29. Evaluación de velocidad comercial esperada en cada corredor	119
Tabla 30. Análisis de factores clave para la complejidad operacional para cada alternativa modal	121
Tabla 31. Análisis de los factores clave relacionados a la complejidad operacional de cada corredor	122
Tabla 32. Evaluación de la complejidad operacional	123
Tabla 33. Análisis de factores clave para potenciales cambios en patrones de transbordo	125
Tabla 34. Evaluación de los cambios en patrones de transbordo	126
Tabla 35. Análisis de la necesidad de reestructuración de líneas existentes	127
Tabla 36 . Evaluación de la necesidad de reestructuración de líneas existentes	128
Tabla 37. Evaluación de la participación de los operadores existentes	131
Tabla 38. Análisis de la flexibilidad y resiliencia operativa	133
Tabla 39. Evaluación de la flexibilidad y resiliencia operativa	134
Tabla 40. Parámetros operativos de la red	138
Tabla 41. Parámetros operativos por modo	138
Tabla 42. Vida útil económica de los componentes (años)	140
Tabla 43. Costos unitarios de inversión y mantenimiento por modo	140
Tabla 44. Costos de obra civil de PTTM en la alternativa BRT	142
Tabla 45. Costos por kilómetro de obra civil, estimados para el estudio	143
Tabla 46. Panorama de costos de material rodante (valores actualizados a 2024)	143
Tabla 47. Costos de costos de material rodante estimados para el estudio	144
Tabla 48. Costos de equipamientos de estación del PTTM en la alternativa BRT	145
Tabla 49. Costos de equipamiento por estación, utilizados para el estudio	146
Tabla 50. Componentes de los sistemas ferroviarios	147
Tabla 51. Costos aproximados por tipología y subsistema	151
Tabla 52. Resultados de la estimación paramétrica de costos de implementación (CAPEX)	153
Tabla 53. Dimensionamiento del personal por modo	156



Tabla 54. Costos de OPEX – Nómina (USD/año)	157
Tabla 55. Demanda energética por modo.....	158
Tabla 56. Tarifas energéticas aplicadas (UTE).....	159
Tabla 57. Costos de OPEX – Energía (USD/año).....	159
Tabla 58. Resultados de la estimación paramétrica de costos anuales de operación (OPEX)	160
Tabla 59. Resultados del análisis TCO (VAN)	163
Tabla 60. Aplicación de las modalidades contractuales a los modos de transporte del AMM	169
Tabla 61. Estimación preliminar del consumo energético y las emisiones de CO ₂ por modo de transporte analizado	182
Tabla 62. Evaluación de potencial emisión de gases de efecto invernadero (CO ₂).....	183
Tabla 63. Evaluación de generación de contaminantes locales.....	185
Tabla 64. Evaluación de potencial de integración con estrategias urbanas de sostenibilidad ambiental.....	187
Tabla 65. Evaluación de potencial de Desarrollo Orientado al Transporte.....	190
Tabla 66. Evaluación de permeabilidad del corredor	193
Tabla 67. Evaluación del impacto visual.....	196
Tabla 68. Evaluación del potencial de mejora del espacio público.....	197
Tabla 69. Evaluación de impactos en actividades comerciales en fase de implementación	201
Tabla 70. Evaluación de plazos de ejecución típicos.....	203
Tabla 71. Evaluación de posibilidad de implementación por etapas	205
Tabla 72. Evaluación de escalabilidad	207
Tabla 73. Evaluación de requerimientos de estructura institucional	210
Tabla 74. Evaluación de complejidad de estructuras de gobernanza.....	212
Tabla 75. Resumen de resultados de la evaluación de criterios para las alternativas tecnológicas: BRT y LRT implementación en superficie; Metro 100% soterrado	219
Tabla 76. Resumen de escalas de evaluación de criterios	220
Tabla 77. Proyectos de BRT, LRT y Metro relevados en el estudio	235
Tabla 78. Dimensiones de las modalidades contractuales analizadas.....	251

Gráficos

Gráfica 1. Compilado de velocidades operacionales de corredores BRT a nivel global	45
Gráfica 2. Compilado de velocidades operacionales de corredores LRT	52



Gráfica 3. Ejemplo de velocidades operacionales en función de la distancia entre estaciones, en sistemas tipo metro en Europa y Asia	59
Gráfica 4. Distancia de frenado hasta alto total (0 km/h) en condiciones de frenado de emergencia	101
Gráfica 5. Costos estimados de inversión por km en sistemas ferroviarios.....	150
Gráfica 6. Costos agregados y desagregados, estimados para los sistemas ferroviarios para ambos tipos de sistemas.	152
Gráfica 7. Resultados de la estimación paramétrica de costos de implementación (CAPEX)	154
Gráfica 8. Perfil horario de demanda energética por modo (kWh/h)	158
Gráfica 9. Resultados de la estimación paramétrica de costos anuales de operación (OPEX)	160
Gráfica 10. Resultados del TCO para cada alternativa (VAN, USD)	164
Gráfica 11. TCO CAPEX (Millones de USD)	165
Gráfica 12. TCO OPEX (millones de USD)	166
Gráfica 13. Estimación de emisiones de CO ₂ anuales por modo de transporte analizado	182
Gráfica 14. Estimación de consumo energético anual por modo de transporte analizado	183
Gráfica 15. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en los BRT.....	237
Gráfica 16. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en los LRT.....	238
Gráfica 17. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en Metro	238
Gráfica 18. Dispersión de CAPEX por km de proyectos para las 3 alternativas tecnológicas, en Millones de USD/KM	240

Ilustraciones

Ilustración 1. Distribución de la densidad de población en el área de influencia de los corredores metropolitanos	15
Ilustración 2. Distribución de la densidad de población en el área de influencia del corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8.....	22
Ilustración 3. Cobertura de líneas en un área de influencia de 500 metros: Corredor Avenida 8 octubre – Cno. Maldonado – Ruta 8.....	23
Ilustración 4. Distribución de la densidad de población en el área de influencia del corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio.....	27
Ilustración 5. Cobertura de líneas en un área de influencia de 500 m: Corredor Avenida Italia – Avenida Giannattasio.....	28



Ilustración 6. Distribución de la densidad de población en el área de influencia de la Avenida 18 de Julio	32
Ilustración 7. Cobertura de líneas en un área de influencia de 500 m: Avenida 18 de Julio	33
Ilustración 8. Diseño conceptual de un corredor de BRT sin carril de sobrepaso.	42
Ilustración 9. Corredor Camino Maldonado y Ruta 8: Zonamerica – Intercambiador Belloni	72
Ilustración 10. Corredor Av. 8 de Octubre: Intercambiador Belloni – Tres Cruces.....	72
Ilustración 11. Corredor Giannattasio: El Pinar – Barra de Carrasco.....	73
Ilustración 12. Corredor Av. Italia: Av. Rafael Barradas (Arroyo Carrasco – Tres Cruces) .	74
Ilustración 13. Diagrama de flujos de los corredores en el Nodo Tres Cruces	75
Ilustración 14. Corredor Av. 18 de Julio: Tres Cruces – Plaza Independencia.....	75
Ilustración 15. Comparativa de los vehículos tipo empleados para el análisis: Ómnibus biarticulado, Tranvía, y tren tipo Metro Ligero	86
Ilustración 16 – Estructura del modelo TCO (<i>Fuente: elaboración propia</i>)	136
Ilustración 17. Calendarización de la inversión inicial.....	155
Ilustración 18. Clasificación de fuentes de financiamiento	253

Figuras

Figura 1. Capacidad de los sistemas de transporte y costos capitales para opciones de transporte masivo.....	68
Figura 2. Esquema de red de corredores: Ejes metropolitanos 8 de Octubre y Av. De Julio y confluencia en Av. 18 de Julio	71



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, P. R., Jones, P. y Mindell, J. S. (2016). Urban transport and community severance: Linking research and policy to link people and places. *Journal of Transport & Health*, 3 (3), 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2016.07.006>
- 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>
- Asociación Latinoamericana de Metros y Subterráneos, y Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos. (2018). *Guia para o Gerenciamento de Projetos de Transporte de Passageiros sobre Trilhos*.
- 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>
- 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>
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (2012). *Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Método de cálculo* (Norma DIN EN 15978:2012–10). Beuth Verlag.
- 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>
- CTS EMBARQ México. (2014). *Metodología para la elaboración de indicadores de inserción urbana base para la medición de impactos de la implementación de proyectos del sistema de movilidad urbana sustentable en la Ciudad de México: Indicadores para el ejercicio del derecho a la movilidad*.
- 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>
- Gwilliam, K. (2002). *Ciudades en movimiento: Revisión de la estrategia de transporte urbano del Banco Mundial*. Departamento de Transporte y Desarrollo Urbano del Banco Mundial. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/876011468142795915/pdf/249100a1spanish1citieson1thelmove.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 de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. (ITDP) (2017b). *Estándar DOT (V3.0)*. <https://itdp.org/wp-content/uploads/2017/06/DOT-Estandar-V3.0.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>



- Intendencia de Montevideo. (2025b). *Mercados, ferias y alimentación*. <https://montevideo.gub.uy/tipo/area-tematica/emprendimientos-empleo-y-economia/mercados-ferias-y-alimentacion>
- International Transport Forum (ITF). (2012). *Pedestrian safety, urban space and health*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789282103654-en>
- 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.
- Marquez, G. (2020). *Informe sobre tarifas y subsidios a usuarios del sistema de transporte público de pasajeros de Montevideo: Los cambios implementados y sus consecuencias*. Intendencia de Montevideo. <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imsubsidiosaltransporte digital.pdf>
- Ministério das Cidades. (2016). *Cadernos técnicos para projetos de mobilidade urbana: Sistemas de prioridade ao ônibus*. Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana; WRI Brasil Cidades Sustentáveis. https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/CadernosTecnicos_SistemasPrioridadeOnibus.pdf
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Uruguay. (2026). *1. Transporte terrestre de personas urbano: Consejos de salarios y negociación colectiva*. Portal Gub.uy. <https://www.gub.uy/ministerio-trabajo-seguridad-social/tematica/1-transporte-terrestre-personas-urbano>
- 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://eastis.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/>



- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). (2013). *Planning and design for sustainable urban mobility: Global report on human settlements 2013*. https://digitallibrary.un.org/record/3905875/files/3503_alt.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>
- 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>
- Rodríguez, D. A. y Vergel Tovar, E. (2013, enero). Sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) y desarrollo urbano en América Latina. *Land Lines*. Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.lincolninst.edu/publications/articles/sistemas-transporte-publico-masivo-tipo-brt-bus-rapid-transit-desarrollo/>
- Sarmiento, C. y Clerc, J. (2016). *Guía DOTS para comunidades urbanas* (2.ª ed.). CTS EMBARQ México.
- 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>
- Sprigbett, B. (2025). *Los sistemas metro con mayor espacio entre estaciones, tienden a funcionar más rápido*. Works in Progress. <https://worksinprogress.co>
- Spyridis, P. y Bergmeister, K. (2024). Sustainable tunnel design: Concepts and examples of reducing greenhouse gas emissions through basic engineering assumptions.



Tunnelling and Underground Space Technology, 152, Artículo 105886.
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105886>

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. <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.

Unión Internacional de Transporte Público (UITP). (2019, mayo). *Transformando ciudades mediante sistemas BRT (Bus Rapid Transit): ¿Cómo integrar el BRT?* https://www.uitp.org/wp-content/uploads/sites/7/2025/04/Report-VREF-BRT-UITP-ES_June_last_version_web.pdf

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. (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: Diseño, proyecto, financiación e implantación* (1.ª ed.). Consorcio Regional de Transportes de Madrid; Universidad Politécnica de Madrid.
- Zhang, M. y Yen, B. T. H. (2020). The impact of Bus Rapid Transit (BRT) on land and property values: A meta-analysis. *Land Use Policy*, 96, Artículo 104684. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104684>



Anexo 1. Proyectos relevados para el estudio económico y comparativo de precios de implementación.

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 manera:

Tabla 77. 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, 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.

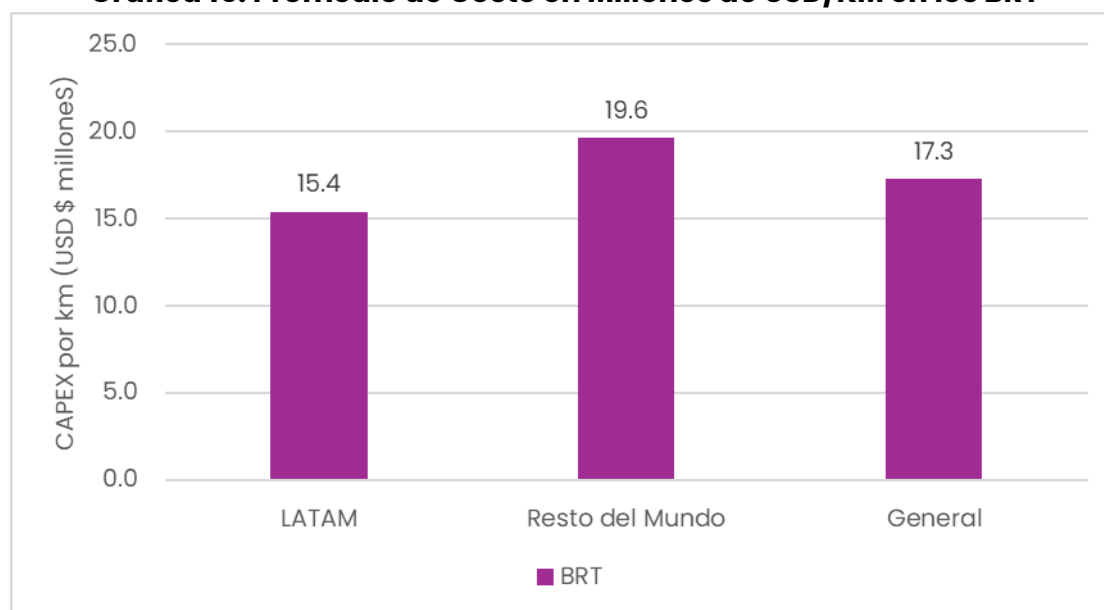
Para cada uno de los casos se relevaron datos sobre la extensión total y el CAPEX. Entre los proyectos analizados se identificaron tanto inversiones correspondientes a redes de corredores, como para líneas individuales. En consecuencia, a fin de asegurar la comparabilidad y homogeneidad de la información,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

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.

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 15. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en los BRT

Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

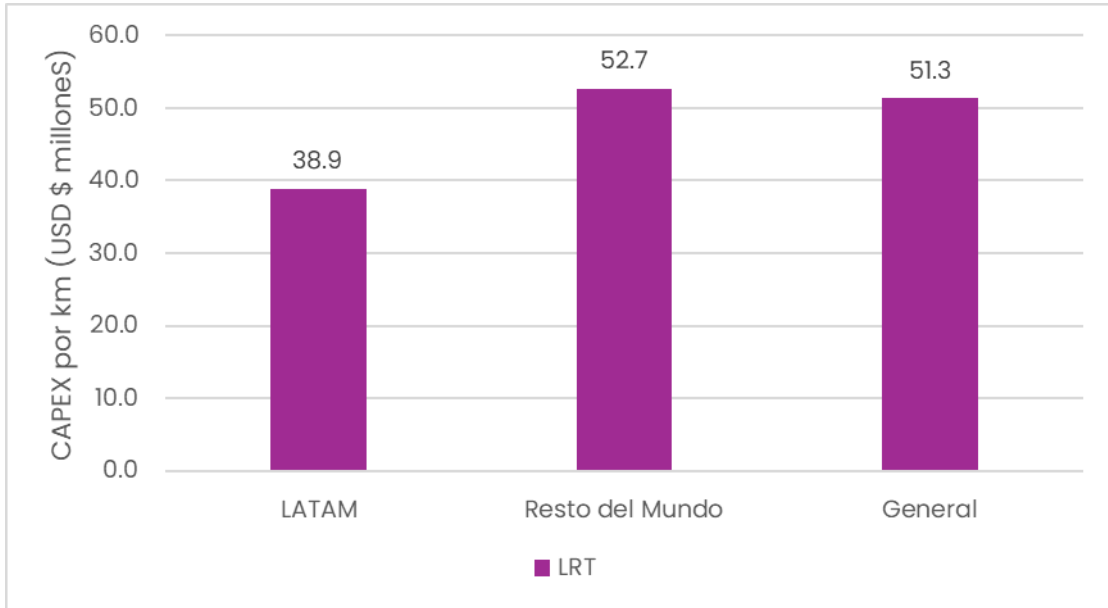
LRT

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.

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.



Gráfica 16. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en los LRT



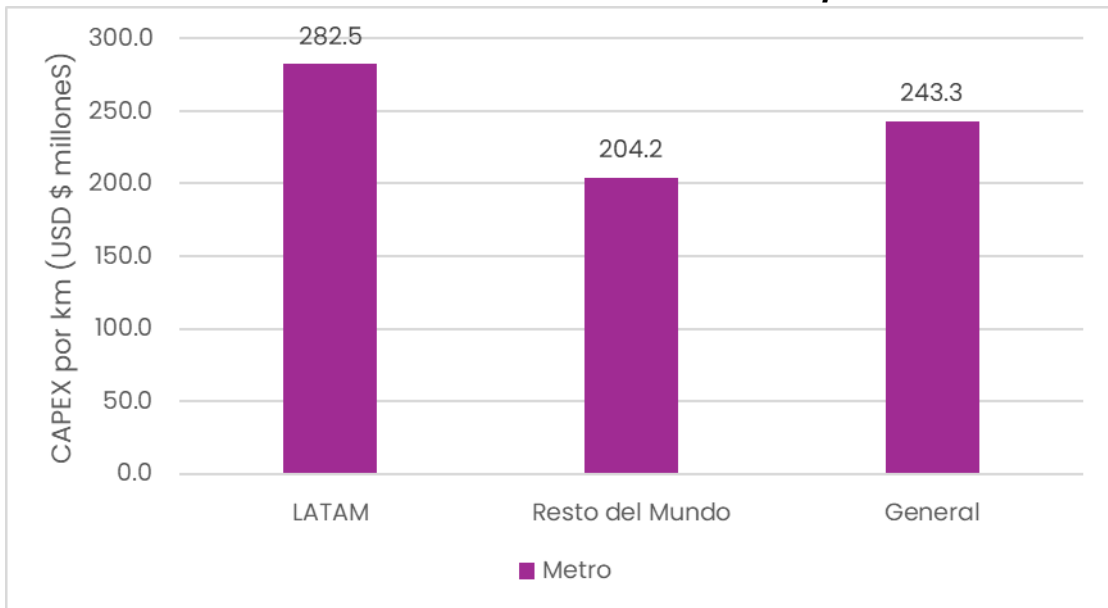
Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

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 17. Promedio de Costo en Millones de USD/KM en Metro



Fuente: elaboración propia en base a diversas fuentes.

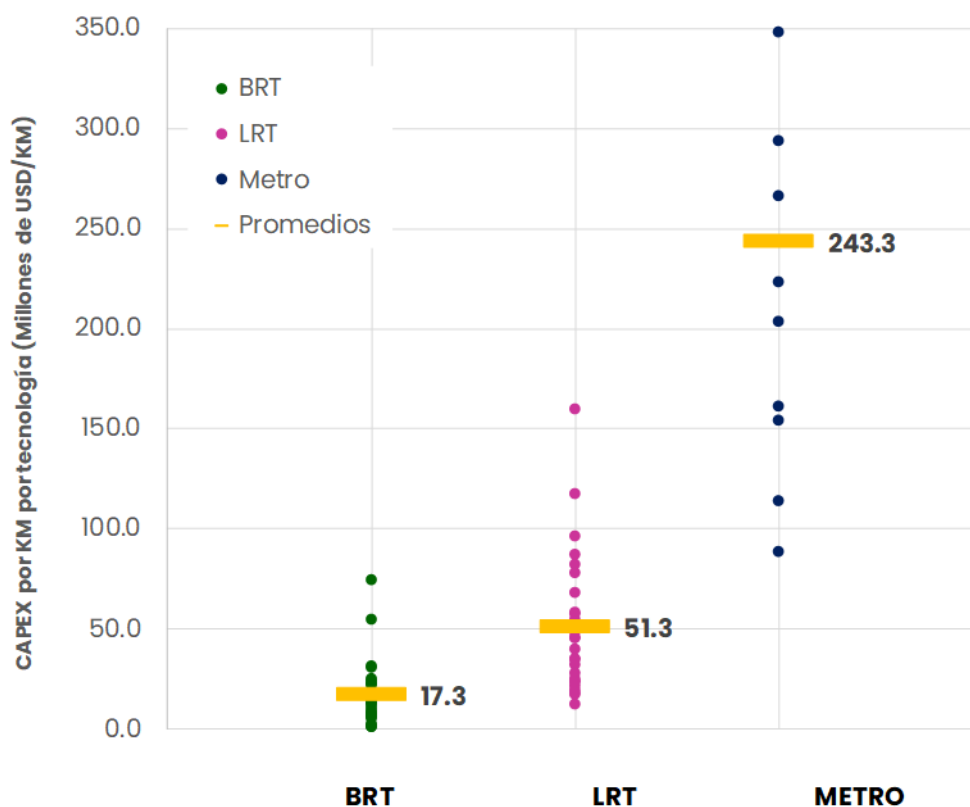
En esta modalidad de transporte se registra una mayor dispersión en los niveles de inversión, lo que se explica por la heterogeneidad de la muestra analizada, en la que coexisten proyectos de naturaleza *greenfield* y *brownfield*, con requerimientos de infraestructura, alcance de obras y niveles de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

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 18. 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.

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. Para fines del estudio, este valor resulta útil para ser utilizado en la proyección de costos de la alternativa tipo metro soterrada.

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	Goiais	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)



Anexo 2 – Descripción de alternativas contractuales

A. Obra pública tradicional

El mecanismo de obra pública constituye el régimen general de contratación de infraestructura en Uruguay. La Constitución habilita a los organismos públicos a contratar obras y servicios dentro de sus competencias, y asigna al Tribunal de Cuentas una función de contralor previo sobre actos que impliquen erogaciones de fondos públicos. El instrumento central de este régimen es el Texto Ordenado de Contabilidad y Administración Financiera del Estado (TOCAF), aprobado por el Decreto N.º 150/012 y actualizado por sucesivas leyes presupuestales y de rendición de cuentas. El TOCAF aplica a la Administración Central, entes autónomos, servicios descentralizados, gobiernos departamentales y personas públicas no estatales. Por esta razón, funciona como la norma común para la contratación de obra pública, con independencia del organismo que actúe como comitente.

El artículo 33 del TOCAF establece que las contrataciones públicas deben realizarse, como regla general, mediante licitación pública u otros procedimientos competitivos previstos por la normativa. Para proyectos de infraestructura de gran escala, el procedimiento habitual es la licitación pública, dado que los montos superan normalmente los topes de licitación abreviada o contratación directa. El proceso incluye la elaboración del pliego, la intervención previa del Tribunal de Cuentas, la publicación del llamado, la recepción de ofertas, la apertura pública, la evaluación técnica y económica, la adjudicación y la firma del contrato.

En la relación contractual de obra pública tradicional, el Estado define el alcance del proyecto, realiza o contrata los estudios previos, asume la responsabilidad de estructurar la obra y financia la inversión. El contratista privado ejecuta la obra conforme al proyecto, las especificaciones técnicas y el cronograma aprobado. La Administración, por su parte, debe asegurar condiciones necesarias para la ejecución, como disponibilidad de terrenos, autorizaciones, servidumbres o permisos.

El mecanismo de pago se basa en certificados mensuales de avance. El contratista ejecuta, certifica el avance realizado y el Estado paga en función de los trabajos efectivamente cumplidos. En este esquema, el contratista no financia estructuralmente el proyecto de largo plazo, sino que recibe pagos durante la construcción. Por ello, el impacto fiscal de la obra pública es directo e inmediato, ya que la inversión se registra como gasto de capital o deuda pública, según la fuente de financiamiento utilizada.



B. Contratos PPP

El régimen de Participación Público-Privada fue establecido en Uruguay por la Ley N.º 18.786 de 2011 y reglamentado por el Decreto N.º 17/012. Este mecanismo permite contratar infraestructura pública incorporando diseño, construcción, financiamiento, operación y mantenimiento a cargo del sector privado, bajo contratos de largo plazo. Su objetivo es atraer capital privado para acelerar el desarrollo de infraestructura, manteniendo la titularidad pública de los activos y el control estatal sobre los estándares de servicio.

La Ley define los contratos PPP como aquellos en los que una Administración Pública encarga a un privado, por un período determinado, el diseño, construcción, operación y/o financiamiento de infraestructura. Los elementos que distinguen a la PPP de la obra pública son la integralidad de prestaciones, la duración extendida del contrato y la transferencia de riesgos al privado. A diferencia de la obra pública, donde el Estado paga por avance de obra, en la PPP el privado financia la inversión inicial y la recupera durante la etapa de operación, sujeto al cumplimiento de estándares de disponibilidad y calidad.

La normativa exige que la Administración justifique previamente que el mecanismo PPP es más conveniente que otras alternativas de contratación. Esto introduce el principio de demostrar Valor por Dinero, donde el mecanismo no debería utilizarse simplemente como mecanismo para diferir pagos, sino cuando permite una asignación más eficiente de riesgos, una mejor calidad de servicio o una gestión de largo plazo más conveniente para el Estado.

En la relación contractual la Administración Pública define los niveles de servicio y estándares de calidad, mediante indicadores de desempeño, y el contratista privado asume riesgos de diseño, construcción, financiamiento, mantenimiento y desempeño operativo. La Administración conserva riesgos vinculados a decisiones soberanas, cambios regulatorios extraordinarios o decisiones de política pública. La remuneración suele adoptar la forma de Pago por Disponibilidad (PPD), en algunos contratos combinada con pago de usuarios, mediante el cual el Estado paga periódicamente si la infraestructura está disponible y cumple los estándares pactados. Si hay incumplimientos, se aplican deducciones automáticas.

A diferencia del mecanismo de Obra Pública, donde los montos de inversión comprometidos impactan de forma directa en la deuda pública, en el esquema PPP el impacto se difiere y los PPD asumidos en cada contrato se registran como pasivo contingente.



Uruguay cuenta con una cartera PPP de aproximadamente USD 2.080 millones. La mayor parte corresponde a infraestructura de transporte, destacándose el Ferrocarril Central y los proyectos viales.

C. Contrato de construcción, rehabilitación, mantenimiento y financiamiento (CREMAF)

La modalidad CREMAF fue implementada en Uruguay en el año 2020 con el objetivo de permitir financiamiento privado de corto y mediano plazo, con mayor agilidad y menores costos de estructuración que una PPP completa. Es un esquema diseñado para obras en el sector vial, pero su diseño plantea elementos útiles para pensar su aplicación en otros proyectos de infraestructura.

Su base jurídica se apoya en el régimen de concesión de obra pública del Decreto-Ley N.º 15.637/1984 y en el Decreto N.º 49/022. La entidad contratante no es directamente el Estado, sino, en el caso de los CREMAF del sector vial vigentes, la Corporación Vial del Uruguay (CVU), sociedad anónima de capital estatal que opera como concesionaria vial del MTOP. CVU contrata a empresas privadas para ejecutar obras bajo esta modalidad, mientras que la Dirección Nacional de Vialidad actúa como supervisor técnico delegado.

El esquema tiene una arquitectura de dos niveles. En el primer nivel se encuentra el contrato de concesión entre MTOP y CND/CVU, mediante el cual CVU recibe ingresos de peajes, subsidios anuales y subsidios específicos para cumplir obligaciones CREMAF. En el segundo nivel se encuentran los contratos CREMAF entre CVU y las sociedades de objeto exclusivo constituidas por los adjudicatarios. Esta estructura tiene implicancias fiscales, ya que las obligaciones no se registran como deuda soberana directa, sino como compromisos de CVU respaldados por un fideicomiso específico.

El CREMAF divide las prestaciones del contratista en dos grandes componentes. El componente A corresponde a obras de construcción o rehabilitación, incluyendo diseño ejecutivo, construcción de infraestructura, conexiones y estructuras dentro de la faja pública. A su vez, se subdivide en A1, pagado mediante Certificados Irrevocables de Pago (CIP), y A2, pagado mediante Pago por Disponibilidad de Obra durante la etapa de mantenimiento. El componente C corresponde al mantenimiento por niveles de servicio, incluyendo mantenimiento rutinario, preventivo y correctivo.

La principal innovación del CREMAF está en su mecanismo de retribución dual. Durante la construcción, el contratista recibe CIP cuando cumple hitos de obra predefinidos. Estos certificados son irrevocables, tienen obligación de pago de suma líquida y pueden ser descontados en el sistema financiero local. Esto permite al contratista obtener liquidez



sin esperar la finalización total de la obra. Durante la operación, el contratista recibe pagos condicionados a disponibilidad y mantenimiento, que pueden ser reducidos si no se cumplen los niveles de servicio.

Este mecanismo separa el riesgo financiero del riesgo de construcción. El banco que descuenta el CIP asume principalmente riesgo crediticio de CVU, respaldado por el fideicomiso y subsidios estatales, mientras que el contratista mantiene el riesgo de ejecutar correctamente la obra.

Entre 2020 y 2024, CVU adjudicó contratos CREMAF por alrededor de USD 950 millones en rutas nacionales, incluyendo tramos de las rutas 1, 5, 9, 19, 26, 101 y 102. Esto muestra que el mecanismo ha alcanzado una escala relevante en infraestructura vial y que podría ofrecer aprendizajes para otros sectores, como transporte y movilidad.

D. Comparativa entre las tres alternativas analizadas

En la siguiente tabla se detallan algunos elementos que aportan a esta discusión en forma preliminar. La modalidad CREMAF, como se detalló previamente, fue diseñada para proyectos de rutas nacionales, por lo que su utilización requerirá de una adaptación institucional y regulatoria si se entiende pertinente de utilizar para alguno de los posibles contratos del proyecto.

Tabla 78. Dimensiones de las modalidades contractuales analizadas

Dimensión	Obra Pública	PPP	CREMAF*
Marco legal	TOCAF – Decreto 150/012	Ley N° 18.786 y Decreto 17/012	Decreto-Ley 15.637/1984 + adaptación
Horizonte contractual	Construcción (2-5 años)	Largo plazo (30 años)	12-15 años (construcción + 10 mantenimiento)
Financiamiento	Presupuesto público o deuda soberana	Capital privado	Capital privado
Pago durante construcción	Certificados de avance de obra	No aplica	CIPs irrevocables por hitos de obra
Pago en operación	No aplica	PPD condicionado a disponibilidad	PPD-O + pago mantenimiento
Riesgo de construcción	Estado	Privado	Privado
Riesgo operativo	Estado	Privado (DBFOM)	Estado
Impacto fiscal	Directo e inmediato	Diferido; pasivo contingente PPP	Diferido vía Subsidio presupuestal



Complejidad de estructuración	Baja	Alta (Estudios previos exhaustivos e Instituciones Públicas involucradas: MEF, OPP, CND, TC)	Media (necesidad de generar una entidad concedente + fideicomiso)
-------------------------------	------	--	---

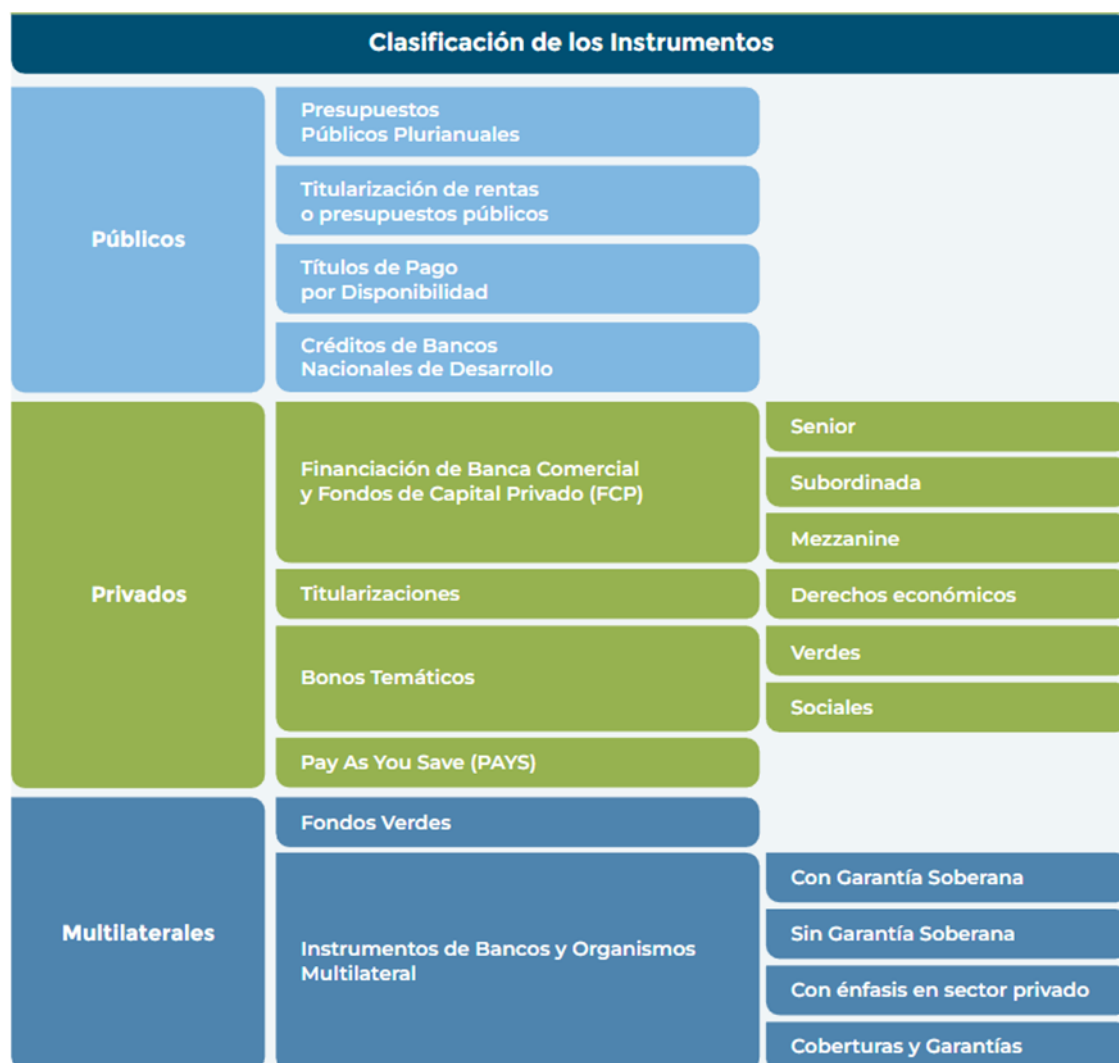
Fuente: elaboración propia



Anexo 3 – Fuentes de financiamiento

Las fuentes de financiamiento que se analizan en la presente sección son transversales a las distintas modalidades propuestas, y sirven para generar inicios en la etapa inicial sobre que mecanismos combinar para el potencial financiamiento del proyecto.

Ilustración 18. Clasificación de fuentes de financiamiento



Obtenido de Rivas et al., 2025

El financiamiento público se nutre de recursos presupuestarios o fiscales que asignan los gobiernos nacionales o subnacionales. El financiamiento privado, en cambio, moviliza capital del sistema financiero y de otros agentes del mercado. Junto a ambos operan las fuentes multilaterales, que pueden contar o no con garantía soberana y que con frecuencia incorporan recursos no reembolsables para mejorar las condiciones de crédito de los beneficiarios, reforzar las capacidades del sector y abrir el acceso a fondos verdes o climáticos.

A. Financiamiento con recursos públicos

El financiamiento con recursos públicos abarca un conjunto acotado de instrumentos: los presupuestos públicos plurianuales; la titularización de rentas o de flujos presupuestarios; los títulos de pago vinculados a la ejecución, la disponibilidad o el cumplimiento de hitos; y el crédito de los bancos nacionales de desarrollo. Cada uno se describe a continuación (Rivas et al., 2025):

- **Presupuestos públicos plurianuales.** Asignan recursos de forma anticipada y sostenida en el tiempo a los proyectos de transporte público. Son especialmente valiosos en inversiones intensivas en capital —infraestructura, sistemas masivos o renovación de flota—, porque dan previsibilidad y atenúan la incertidumbre propia de los ciclos presupuestales anuales.
- **Créditos de bancos nacionales de desarrollo.** Canalizan recursos públicos en condiciones más favorables que las del mercado comercial. Habitualmente ofrecen plazos extendidos, tasas preferenciales y esquemas de amortización ajustados a la naturaleza de los proyectos de transporte, lo que facilita financiar inversiones de mediano y largo plazo.
- **Títulos de pago por disponibilidad o cumplimiento de hitos.** Se emplean sobre todo en PPP. Mediante ellos el sector público asume compromisos de pago futuros sujetos a la disponibilidad y el desempeño del servicio, lo que atrae financiamiento privado respaldado por flujos públicos previsibles.
- **Titularización de rentas o presupuestos públicos.** Permite adelantar recursos tomando como respaldo ingresos fiscales futuros (subsidios operativos o rentas específicas, por ejemplo). Habilita financiar inversiones iniciales de magnitud, aunque exige marcos legales sólidos y una gestión cuidadosa del riesgo fiscal.

Los instrumentos públicos suelen ser de estructuración relativamente sencilla frente a los privados o multilaterales, lo que agiliza su implementación. Su principal límite está en la dependencia de la capacidad fiscal y de la previsibilidad presupuestal, además de la fragmentación institucional entre niveles de gobierno, factores que pueden comprometer la sostenibilidad financiera de los proyectos.

B. Financiamiento privado

El financiamiento privado se vuelve atractivo cuando el sector público enfrenta restricciones fiscales o limitaciones en su capacidad de endeudamiento. Estos instrumentos movilizan recursos del sistema financiero y del mercado de capitales



(banca comercial, fondos de inversión y otros actores). A diferencia de los públicos, responden a una lógica esencialmente financiera, en la que la rentabilidad, el perfil de riesgo y la previsibilidad de los flujos de ingresos resultan determinantes para su viabilidad.

En líneas generales, este financiamiento se canaliza mediante:

- **Créditos de la banca comercial (local e internacional).** Se utilizan en esquemas con participación privada, flujos de caja previsibles y una estructura de ingresos bien definida.
- **Bonos convencionales y temáticos (verdes y sostenibles).** Los bonos temáticos son instrumentos de deuda destinados a proyectos con impacto ambiental o social, alineados con estándares internacionales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Dentro de esta familia destacan los bonos verdes, enfocados en beneficios ambientales, y los sostenibles, que combinan impactos ambientales y sociales.
- **Pagos con ahorros o eficiencias (PAYS).** Vinculan los pagos a los ahorros o las eficiencias generadas. Se estructuran a plazos medianos y largos para recuperar gradualmente la inversión, tienen una capacidad de movilización acotada y se aplican principalmente en operación y mantenimiento (en especial en eficiencia energética, reducción de costos y extensión de la vida útil de activos existentes). Su implementación es compleja y especializada, y pueden destinarse a la transición hacia tecnologías más limpias, como flotas eléctricas e infraestructura de carga.
- **Otros instrumentos.** Las innovaciones financieras emergen como mecanismos complementarios para financiar proyectos o componentes puntuales dentro de esquemas más amplios. Un ejemplo es el mecanismo *crowdfunding* capta recursos de múltiples actores, mediante plataformas digitales y ya se ha aplicado en transporte para movilidad sostenible, tecnologías innovadoras y mejoras de infraestructura comunitaria.

En conjunto, los instrumentos privados conllevan una mayor complejidad de estructuración, ya que demandan análisis financieros detallados, marcos contractuales robustos y mecanismos de mitigación de riesgos. Suelen aparecer en etapas avanzadas del ciclo del proyecto, cuando la demanda, los costos y las fuentes de repago ya han sido razonablemente validados.

C. Financiamiento multilaterales y fondos verdes

Los principales instrumentos multilaterales se resumen así (Rivas et al., 2025):



- **Créditos con garantía soberana.** Los otorgan bancos y organismos multilaterales de desarrollo con respaldo del Estado y se destinan sobre todo a financiar inversión (CAPEX). Ofrecen plazos largos y montos elevados, con una implementación compleja y especializada.
- **Créditos de banca multilateral a nivel subnacional (sin garantía soberana).** También provienen de organismos multilaterales, pero prescinden de la garantía estatal y financian directamente a gobiernos subnacionales, empresas públicas o mixtas. Suelen restringirse a entidades que superan estrictos requisitos de elegibilidad (riesgo crediticio, gobernanza, capacidad de ejecución y sostenibilidad financiera) y se estructuran sobre recursos públicos como fuente de pago, por lo que requieren flujos de ingreso estables y predecibles.
- **Créditos con énfasis en el sector privado.** Se canalizan a través de los brazos privados de los organismos multilaterales (por ejemplo, IFC o BID Invest) y se orientan a proyectos de transporte público con participación privada relevante, como concesiones o APP.
- **Coberturas y garantías multilaterales.** Mitigan riesgos financieros, regulatorios o de crédito, mejoran el perfil de riesgo de los proyectos y facilitan la movilización de recursos adicionales. No financian la inversión de forma directa, pero resultan clave para viabilizar proyectos y acceder a otros instrumentos.
- **Fondos verdes y climáticos.** Aportan recursos de fondos multilaterales dirigidos a proyectos que favorecen la mitigación del cambio climático, la adaptación y el desarrollo sostenible (reducción de emisiones, electrificación del transporte público o mejora de la eficiencia energética). Su capacidad de movilización es baja, lo que los hace idóneos para proyectos de escala acotada o como complemento de fuentes mayores.

Buena parte del financiamiento internacional al transporte público llega por la vía de bancos bilaterales y multilaterales de desarrollo y de fondos verdes o climáticos. Entre los primeros se destacan:

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) directamente y a través de su ventanilla privada BID Invest;
- Banco Mundial (BM) directamente y a través de su ventanilla privada Corporación Financiera Internacional (IFC);
- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) directamente y a través de su Dirección de Sector Privado;
- Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE)



La lista de fondos de financiamiento verde o climático es más extensa; a continuación, se enumeran los principales:

- Clean Technology Fund (CTF)
- Green Climate Fund (GCF)
- Global Environment Facility (GEF)
- Global Climate Change Alliance (GCCA)
- Global Energy Efficiency and Renewable Energy Fund (GEEREF)
- Mitigation Action Facility (MAF)
- UK's International Climate Fund
- Germany's International Climate Initiative (IKI)
- Strategic Climate Fund (SCF)
- Pilot Program for Climate Resilience (PPCR)
- Partnership for Market Readiness (PMR)

