



AGENCIA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE METROPOLITANO (ASTM)

Informe Técnico N.º 1

Fundamentos para la elección del modo

para la red troncal del Área
Metropolitana (AM)



Setiembre de 2026

Índice

Glosario de siglas y términos técnicos	3
1. Resumen Ejecutivo	4
2. Introducción y objeto del informe	7
3. Situación actual del transporte público metropolitano	10
4. Factores que determinan el desempeño y la capacidad del sistema	11
4.1. ¿Qué determina el desempeño del transporte público?	11
4.2. Experiencias internacionales	12
4.2.1. Ejemplos de sistemas basados en tranvías sobre rieles	12
4.2.2. Ejemplos de sistemas basados en buses sobre ruedas	16
4.3. Capacidad y demanda del AM	21
5. La velocidad importa	23
6. Comparación entre alternativas: BRT y LRT	26
6.1. Comparación energética y ambiental	26
6.1.1. Consumo energético y emisiones durante la operación	26
6.1.2. Ruido y vibraciones	28
6.1.3. Baterías y gestión al final de su vida útil	28
6.1.4. Conclusión de la comparación ambiental y energética	29
6.2. Comparación económica	29
6.2.1. Inversión inicial (CAPEX)	30
6.2.2. Costos de operación y mantenimiento (OPEX)	31
6.2.3. Costo total durante el ciclo de vida	32
6.2.4. Costos y beneficios	33
6.2.5. Conclusión de la comparación económica	34
6.3. Comparación en atracción de nuevos pasajeros	35
6.3.1. Los atributos que los pasajeros demandan para usar transporte público	35
6.3.2. La percepción subjetiva	36
6.3.3. Conclusión de la comparación sobre atracción de pasajeros	37
7. Conclusiones finales y recomendaciones	39
Bibliografía y fuentes consultadas	42

Glosario de siglas y términos técnicos

AM — Área Metropolitana. En este informe comprende Montevideo, Canelones y San José.

ASTM — Agencia del Sistema de Transporte Metropolitano.

BRT — Buses de Tránsito Rápido (Bus Rapid Transit). Sistema de transporte basado en buses de alta capacidad y prestaciones diferenciales, con condiciones de prioridad e infraestructura específicas.

LRT — Tren ligero o tranvía (Light Rail Transit). Alternativa ferroviaria ligera analizada para los corredores troncales.

BHLS — Bus with High Level of Service. Denominación utilizada para servicios de bus de alto nivel, como el Busway de Nantes.

BHNS — Bus à haut niveau de service. Denominación francesa utilizada para sistemas de bus de alto nivel de servicio comparables al BRT.

CAPEX — Capital Expenditure. Inversión inicial requerida para infraestructura, material rodante, equipamiento y sistemas necesarios para la puesta en funcionamiento.

OPEX — Operating Expenditure. Costos de operación y mantenimiento necesarios para prestar el servicio y conservar infraestructura y equipos.

REPEX — Replacement Expenditure. Inversiones de reposición de activos que deben realizarse durante el horizonte de análisis.

TCO — Total Cost of Ownership o Costo Total de Propiedad. Integra inversión inicial, operación, mantenimiento, reposiciones y valores residuales durante el período analizado.

STM — Sistema de Transporte Metropolitano. Fuente de información utilizada en cálculos propios del informe.

SNIP — Sistema Nacional de Inversión Pública.

CO₂ — Dióxido de carbono. Indicador utilizado para expresar las emisiones asociadas al consumo energético.

GWh — Gigavatio-hora. Unidad utilizada para expresar consumo anual de energía eléctrica.

USD — Dólares estadounidenses.

Bunching — Agrupamiento de unidades que deberían circular separadas, afectando la regularidad de las frecuencias.

Sistema tronco-alimentado — Organización en la que los corredores troncales se articulan con líneas alimentadoras y nodos de conexión para completar los viajes y ampliar la cobertura de la red.

1. Resumen Ejecutivo

El Área Metropolitana, integrada por Montevideo, Canelones y San José (en adelante, AM) aborda la construcción de una red troncal de transporte público de alta capacidad, que tiene como fase inicial la intervención sobre dos de sus corredores de mayor demanda (8 de Octubre–Camino Maldonado y Av. Italia–Av. Giannattasio) complementando el actual esquema de operación basado en líneas punto a punto con alto grado de superposición, al incluir un esquema tronco-alimentado en dichos corredores.

Los niveles de demanda descartan al Metro pesado, que se justifica recién por encima de 20.000 pasajeros/hora/sentido frente a un máximo de 4.300 en el AM, acotando la decisión a dos alternativas modales: Buses de Tránsito Rápido (BRT) o tranvía/tren ligero (LRT).

Este informe fundamenta técnicamente la elección del BRT para esta primera etapa.

Diagnóstico y desempeño

El sistema actual arrastra una caída del 50% de sus pasajeros desde los años 90 (de 400 a 200 millones anuales) y opera a una velocidad comercial de 16 km/h, inferior a la del automóvil particular (21-22 km/h). Una de las metas de la transformación es diseñar una red troncal de transporte, de alcance metropolitano, que desarrolle velocidades en torno a los 25 km/h.

La evidencia internacional relevada (tranvías de Toronto, Alicante, Medellín y Valencia; BRT de Nantes, Brisbane, Quito y Ciudad de México) muestra que la velocidad, frecuencia y previsibilidad de un sistema dependen de su diseño operativo (prioridad de circulación, embarque por múltiples puertas, distancia entre paradas) y no de la tecnología utilizada o el tipo de vehículo: existen tranvías lentos (15 km/h) y BRT rápidos (más de 25 km/h), y viceversa.

La capacidad por vehículo solo se vuelve determinante por encima de 8.000-10.000 pasajeros/hora/sentido. Siendo que el corredor de mayor demanda del AM alcanza 4.300 pasajeros/hora/sentido, o sea, la mitad de ese umbral, ambas tecnologías tienen capacidad adecuada, y la decisión pasa a apoyarse en otros criterios.

Infraestructura y velocidad

Alcanzar los objetivos deseados de mayor velocidad y regularidad exige resolver adecuadamente los principales nodos de circulación y congestión, así como priorizar la circulación, independientemente del modo elegido para el servicio. Las soluciones necesarias para preservar la prioridad y la continuidad de circulación son viables para ambas tecnologías, pero presentan mayores exigencias geométricas y de infraestructura, en el caso del LRT, especialmente en las intervenciones a desnivel.

En el caso del AM, el nodo de Tres Cruces resulta particularmente crítico puesto que allí confluyen ambas líneas y se trata del punto de mayor congestión vehicular.

Comparación energética y ambiental

Ambas alternativas presentan características deseables, son eléctricas y eliminan las emisiones de la flota diésel actual, pero el BRT resulta más eficiente: requiere aproximadamente la mitad del consumo energético del LRT y genera menos de la mitad de sus emisiones de CO₂. Esto, sumado a la posibilidad de utilizar tarifas eléctricas nocturnas más bajas hace que el gasto anual en energía del BRT equivalga a un cuarto del LRT.

Ambas alternativas presentan características deseables en cuanto al confort de marcha. La estabilidad de circular por un riel favorece al LRT, mientras que el BRT evita las fuentes específicas de vibraciones y ruido asociadas al contacto rueda-riel. El uso de baterías constituye un impacto ambiental específico del BRT, que hoy en día resulta manejable mediante reciclaje y segunda vida útil.

Comparación económica

La dimensión económica resulta determinante para la elección del BRT, dado que ambas alternativas permiten alcanzar un nivel de servicio y calidad comparable, así como atender los flujos de pasajeros actuales y proyectados.

La inversión inicial estimada asciende a aproximadamente USD 575 millones para el BRT y USD 1.544 millones para el LRT. Los costos anuales de operación y mantenimiento son también superiores en el LRT: aproximadamente USD 68 millones frente a USD 43 millones para el BRT.

Al considerar las diferentes vidas útiles, el costo de la inversión, costo de mantenimiento y reposición, así como su valor residual durante un horizonte de 30 años, el Costo Total de Propiedad se estima en aproximadamente USD 1.043 millones para el BRT y USD 2.096 millones para el LRT. La diferencia supera, por tanto, los USD 1.000 millones en valor presente, para entregar un nivel similar de servicio.

Atracción de nuevos pasajeros

El LRT presenta una ventaja potencial asociada al mayor confort de marcha y a una percepción más favorable del modo ferroviario frente al BRT, aunque los nuevos buses eléctricos de diseño moderno, que serán los seleccionados para el proyecto, junto con la construcción de una vialidad específica para su circulación, contribuyen a reducir esta brecha.

La mayor capacidad por vehículo del LRT permite operar con intervalos más amplios, lo que facilita la gestión de la prioridad semafórica, pero se traduce en mayores tiempos de espera en parada en relación con el BRT.

El BRT presenta, por su parte, ventajas asociadas a una mayor frecuencia y a una mayor flexibilidad operativa frente a contingencias que puedan interrumpir la circulación.

La evidencia disponible no permite identificar una ventaja inequívoca de una alternativa sobre la otra en términos de captación de nuevos pasajeros. Los atributos que tienen mayor incidencia en la elección de los pasajeros —frecuencia, tiempo de viaje y previsibilidad— dependen ante todo de las condiciones de diseño y operación del servicio, que pueden ser similares en ambos modos.

Conclusiones y recomendación

La evidencia técnica reunida recomienda al BRT como la alternativa más adecuada para los corredores troncales del AM en esta etapa, sobre cuatro pilares:

1. Desempeño operacional: El desempeño de un sistema de transporte depende del diseño operativo y la infraestructura, no del tipo de vehículo; un BRT bien diseñado puede alcanzar prestaciones comparables a las de un sistema ferroviario en los atributos centrales del servicio, para los niveles de demanda existentes en el AM.
2. Capacidad: Ambas alternativas disponen de capacidad suficiente para atender la demanda actual y prevista del AM.
3. Desempeño energético y ambiental: El BRT eléctrico presenta el mejor desempeño ambiental y energético de las alternativas evaluadas.
4. Costos: el BRT requiere una inversión y costos de operación sustancialmente menores; aun considerando reposiciones y vidas útiles diferentes, su Costo Total de Propiedad es aproximadamente la mitad del LRT.

Con los criterios analizados y para los niveles de demanda previstos, no se identifican ventajas específicas del LRT de magnitud suficiente para justificar el costo incremental asociado a su elección.

Más allá de la comparación de costos de un corredor individual, el argumento decisivo es de escala: la menor inversión requerida por corredor amplía la capacidad de extender progresivamente la red troncal metropolitana, hasta transformarla en una red completa.

La ventaja de costo del BRT no debe leerse como ahorro fiscal, sino como la condición habilitante para que la transformación alcance la escala de una verdadera red estructurante, y no quede limitada a un enclave aislado de una o dos líneas sobre un sector determinado del AM.

2. Introducción y objeto del informe

El Área Metropolitana (AM) atraviesa un proceso de transformación de su sistema de transporte público, orientado a revertir décadas de pérdida de participación frente al vehículo particular y a devolverle al transporte colectivo un rol central en la movilidad cotidiana de la región. Como parte de ese proceso, se ha definido la implementación progresiva de corredores troncales de alta capacidad y prestaciones diferenciales, abarcando en esta etapa a dos de los tres ejes de mayor demanda del AM: 8 de Octubre - Cno. Maldonado y Av. Italia – Av. Giannattasio, convergiendo ambos troncales en la Av. 18 de Julio.

El AM se caracteriza actualmente por tener un sistema de líneas de transporte público que realizan recorridos de punta a punta, convergiendo muchos de ellos en el área central de Montevideo, con muchas líneas de transporte solapadas recorriendo tramos comunes en las grandes avenidas. Este esquema favorece una elevada proporción de viajes directos, sin necesidad de transbordos, pero genera también superposición de servicios en los principales corredores, baja productividad de la flota y dificultades para alcanzar mayores niveles de velocidad, regularidad y previsibilidad.

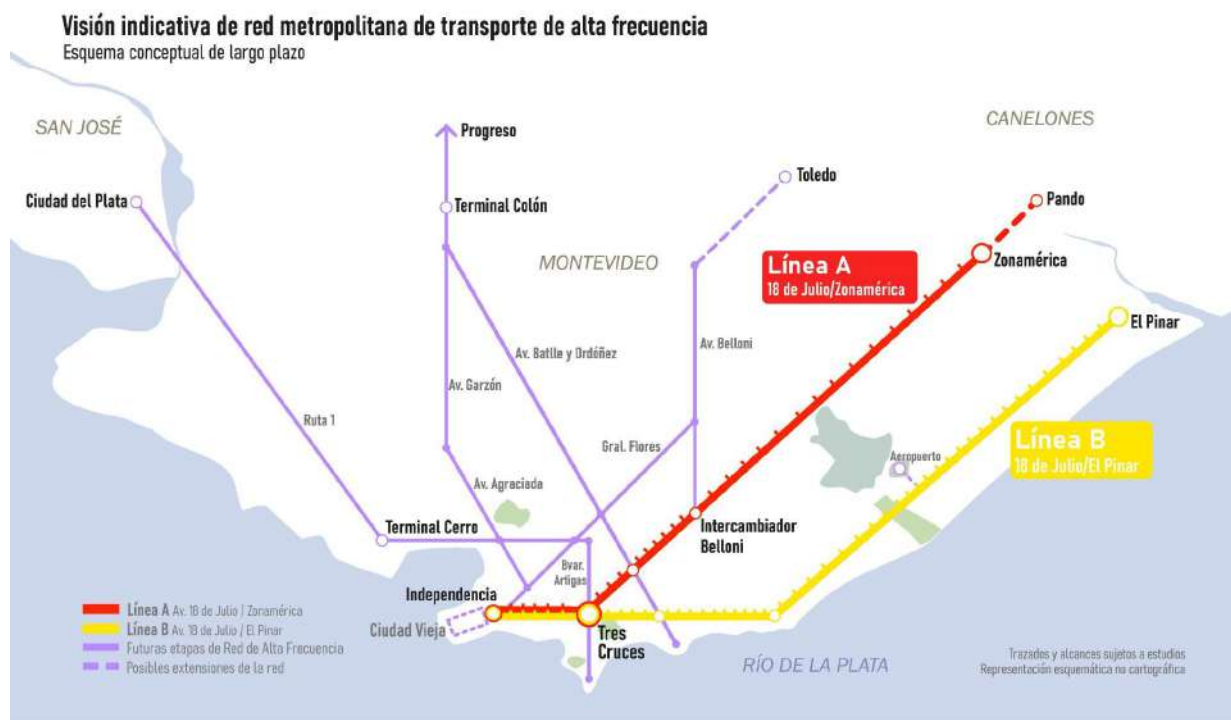
Frente a este escenario, la propuesta de transformación plantea la generación de una red troncal metropolitana en los principales corredores de movilidad, tomando como insumo los patrones actuales de movilidad y disponiendo una nueva organización operativa de la red, basada en un esquema tronco-alimentado, que tiene por objetivo mejorar los atributos actuales del sistema de transporte en sus aspectos clave, como lo son frecuencia, tiempo de viaje y previsibilidad.

Figura 1 | Principales corredores de transporte público AM



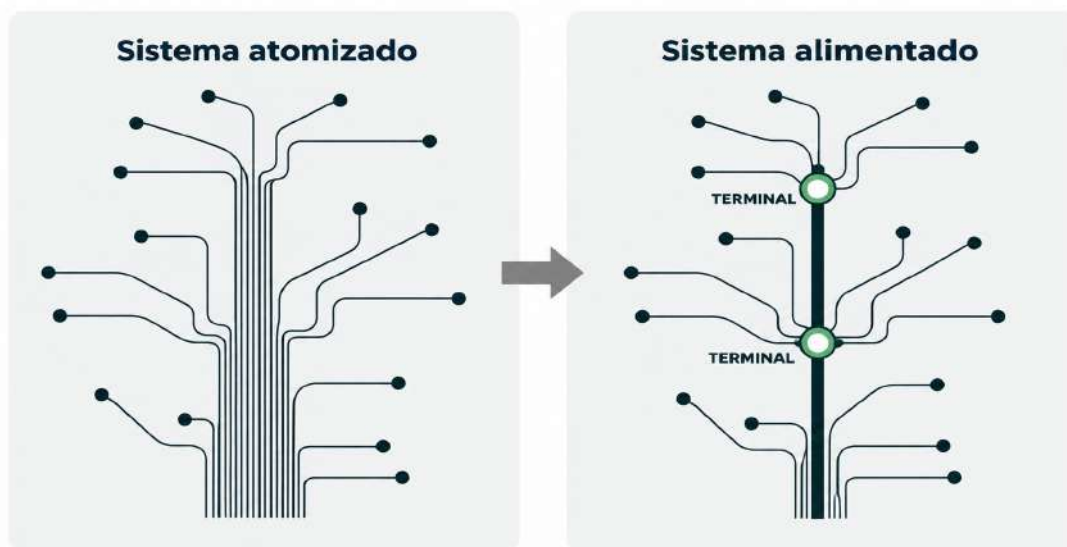
Fuente: REDES. (2026) Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas

Se estima que esta red debe incorporar en un plazo de 15 años al menos 5 ejes radiales y 2 ejes transversales que conecten a los tres departamentos del AM y tiene como primera etapa planteada la intervención en los corredores mencionados, que son el primer y tercer corredor en términos de la cantidad de pasajeros transportados. Estos corredores convergen en la zona de Tres Cruces (principal nodo circulatorio del AM) para luego ingresar al área central de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

El esquema operativo planteado implica pasar de una red atomizada de líneas punto a punto a una red tronco-alimentada, donde en los corredores principales se generan soluciones de alta capacidad, confiabilidad, frecuencia, previsibilidad y velocidad, las cuales se complementan con conexiones donde los pasajeros completan sus viajes, junto a una red densa de líneas transversales que maximizan las opciones de conectividad y acceso a oportunidades (laborales, de salud, educación y esparcimiento) para todas las personas del AM.

Figura 3: Esquema comparativo entre un sistema atomizado y uno alimentado

La eficiencia del sistema tronco-alimentado descansa en la eficiencia del funcionamiento conjunto del tronco común, de los nodos de conexión y de las líneas que se conectan. Sin un adecuado funcionamiento de estos tres componentes, el sistema no será capaz de producir mejoras relevantes en los servicios. Las definiciones técnicas del proyecto asignan la misma relevancia a estos tres componentes.

Una de las decisiones técnicas más relevantes de este proceso es la elección de la tecnología para los corredores troncales. Dicha elección debe considerar, por tanto, no solo su adecuación a esta primera etapa, sino también la posibilidad de extender progresivamente el modelo al conjunto de la red troncal prevista.

Los niveles de demanda de los corredores principales del AM acotan las opciones relevantes a dos: un sistema de Buses de Tránsito Rápido (BRT, por su sigla en inglés) o un sistema de tranvías o tren ligero (LRT, por su sigla en inglés). Las opciones de Metro pesado quedan fuera de las alternativas consideradas por tratarse de sistemas concebidos para niveles de demanda sensiblemente superiores, en los que su elevada capacidad permite justificar la ejecución de inversiones de infraestructura también considerablemente mayores. Como referencia, estos sistemas suelen resultar pertinentes para demandas del orden de 20.000 pasajeros/hora/sentido o superiores, mientras que el corredor de mayor demanda del AM alcanza aproximadamente 4.300 pasajeros/hora/sentido en hora pico y en su sección más cargada. En estas condiciones, la capacidad adicional del Metro no constituye una ventaja que permita justificar sus mayores requerimientos de inversión.

Este informe tiene por objeto exponer técnicamente los fundamentos que sustentan esa elección. No pretende agotar la discusión sobre modos de transporte, sino ofrecer una argumentación rigurosa, basada en evidencia nacional e internacional, que permita determinar cuál es la alternativa más adecuada para transformar el sistema de transporte público metropolitano, teniendo foco en la obtención de mejoras significativas en la calidad y nivel de servicio.

3. Situación actual del transporte público metropolitano.

El sistema de transporte público del AM enfrenta desafíos estructurales acumulados a lo largo de varias décadas. Entre las décadas de 1990 y 2025, la cantidad de pasajeros transportados anualmente cayó de aproximadamente 400 millones a unos 200 millones: una pérdida del 50% de la demanda en poco más de tres décadas.

Esta caída no fue lineal ni obedece a una única causa. Se identifica en todo el período un paulatino abandono del transporte público como modo de transporte, agravado por dos momentos que profundizaron dicha tendencia: la crisis económica de 2002-2004 y el impacto del COVID-19, que provocó una caída adicional de en torno al 15% de la demanda que, a la fecha, no ha sido recuperada. El año 2025 ha marcado un nuevo descenso en la cantidad de pasajeros transportados.

En paralelo con esta pérdida de pasajeros, la venta de combustibles (un indicador indirecto de la movilidad en vehículo particular) se duplicó en Montevideo y se triplicó en Canelones entre mediados de la década de 2000 y 2025. Ambos fenómenos son parte de un mismo proceso: la sustitución progresiva del transporte colectivo por el automóvil particular¹, en un contexto en donde la tenencia de vehículos motorizados en el hogar es ya una realidad consolidada.

El diagnóstico técnico disponible es contundente respecto de los tres atributos que la ciudadanía demanda de un sistema de transporte público: frecuencia, tiempo de viaje, y previsibilidad². Hoy, el sistema opera a una velocidad comercial promedio de 16³ km/h, sensiblemente inferior a la velocidad de circulación del tránsito particular en la ciudad de 21-22 km/h⁴ y lejana a los estándares que caracterizan a los sistemas de alta calidad, que se ubican por encima de los 22 km/h. Como ya fue mencionado, el esquema operativo que caracteriza al sistema (líneas punto a punto circulando en tráfico compartido) tiene como resultado un sistema de baja previsibilidad y regularidad.

Sobre esa base diagnóstica se define uno de los objetivos de la transformación: en los corredores principales del AM desarrollar un sistema con velocidades comerciales en torno a 25 km/h, junto con mejoras sustanciales de la frecuencia y previsibilidad. Este sistema, en conjunto con el resto de las líneas conectadas, se espera que contribuya a mejorar la calidad de la experiencia de los usuarios y los atributos que se demandan al sistema.

A su vez, como consecuencia del proceso de tronco-alimentación, la reorganización de líneas permitiría liberar y redistribuir parte de la flota actualmente utilizada en recorridos redundantes, con la posibilidad de mejorar frecuencias y niveles de comodidad en otros servicios no asociados al proyecto, lo cual marca el carácter general y sistémico de la transformación, ya desde su primera etapa.

Sobre esta base, los capítulos siguientes desarrollan los fundamentos técnicos que sustentan la elección del BRT como alternativa modal para los corredores troncales del AM.

¹ CINVE (2023): “Determinantes de la demanda de servicios de transporte público en Montevideo”.

² CINVE (2023): “La transformación del Sistema de Transporte Público en el Área Metropolitana de Montevideo”.

³ Cálculos propios para el año 2024, basados en información STM.

⁴ <https://www.tomtom.com/traffic-index/city/montevideo/>

4. Factores que determinan el desempeño y la capacidad del sistema

4.1. ¿Qué determina el desempeño del transporte público?

Buena parte del debate público sobre la elección modal parte de un supuesto intuitivo que requiere ser matizado a la luz de la evidencia técnica: la idea de que la frecuencia, el tiempo de viaje, la confiabilidad y la calidad de un sistema de transporte público son atributos asociados a un tipo de vehículo antes que a un sistema y sus condiciones. Así, es usual que los sistemas basados en rieles sean reconocidos como de una calidad superior frente a los sistemas basados en vehículos con ruedas.

Habitualmente, la caracterización tecnológica de un sistema de transporte se concentra en el tipo de vehículo: si circula sobre rieles o neumáticos, su sistema de propulsión y la energía que utiliza. Estas características son relevantes para dimensiones como la capacidad, el consumo energético o las emisiones de gases, pero no explican adecuadamente el nivel de servicio que ofrecen a los pasajeros. Así, existen sistemas que utilizan el mismo tipo de vehículo, impulsado con la misma energía y generando iguales emisiones, que difieren enormemente en cuanto a los niveles de servicio que ofrecen. Para atributos como la velocidad, la regularidad y la previsibilidad resultan mucho más relevantes las condiciones de infraestructura y operación bajo las cuales funciona el sistema.

Sin embargo, las características que contribuyen a la buena calidad de los sistemas basados en rieles son también aplicables a los basados en vehículos con ruedas⁵. Esta distinción es central para este Informe puesto que lo que determina la velocidad comercial de un sistema de transporte público, su regularidad y previsibilidad no es el tipo de vehículo, sino un conjunto de decisiones de diseño, infraestructura y operación, que son, en principio, aplicables a cualquier modo:

- a) La prioridad de circulación: Si el sistema cuenta con carril exclusivo y segregado del tránsito general, o si comparte la vía con el resto del tránsito. Particularmente importante es el tratamiento de las intersecciones y cómo se prioriza la circulación de las líneas de transporte público en ellas.
- b) El tiempo de abordaje de los pasajeros: Sistemas con prevalidación de boleto y embarque por múltiples puertas anchas reducen drásticamente los tiempos de detención en cada parada, independientemente de si el vehículo circula sobre neumáticos o sobre rieles.
- c) La distancia entre paradas: Una menor distancia entre paradas, sin importar la tecnología del vehículo, tiende a reducir la velocidad comercial, por lo que su definición debe equilibrar objetivos de tiempo de viaje, cobertura, accesibilidad y condiciones urbanas del corredor. Aquí hay que ser cuidadoso ya que una separación excesiva entre paradas puede

⁵ A partir de determinados umbrales de demanda, los sistemas basados en rieles pasan a tener ventajas claras (por la posibilidad de tener vehículos con mayor capacidad) o bien en cuanto al consumo de espacio público necesario (véase sistemas BRT que requieren carril de sobrepaso y múltiples estaciones) o en la posibilidad de mantener los atributos de previsibilidad y frecuencia. Estas diferencias comienzan a hacerse notar a partir de 8.000 y 10.000 pasajeros hora/sentido y se hacen notorias a partir de los 20.000 pasajeros hora/sentido. Estos umbrales son referencias aproximadas y cada proyecto puede desplazarse en función de sus parámetros específicos de diseño.

impactar positivamente en la velocidad y los tiempos de viaje, pero negativamente en el acceso de las personas a las paradas, generando barreras al uso del sistema.

Estas características (prioridad de circulación, abordaje por múltiples puertas y mayor espaciamiento de paradas) no son intrínsecas al modo ferroviario, pero sí están mucho más presentes en estos sistemas, que en el caso de los sistemas basados en vehículos con ruedas. Esto puede generar una asociación entre modo y calidad que no necesariamente se verifica cuando se comparan sistemas con condiciones equivalentes de infraestructura y operación.

La pregunta relevante es qué ocurre con esos atributos de calidad, como tiempo de viaje, regularidad y previsibilidad cuando la infraestructura y modalidad de circulación es la misma, independientemente de si se trata de vehículos basados en rieles o en ruedas.

Para ilustrar este punto, podemos tomar varios ejemplos de sistemas de transporte del mundo, que utilizan vehículos basados en rieles o en ruedas, para comprobar la relación existente entre los atributos de calidad del sistema, y la infraestructura y modalidad de circulación del servicio.

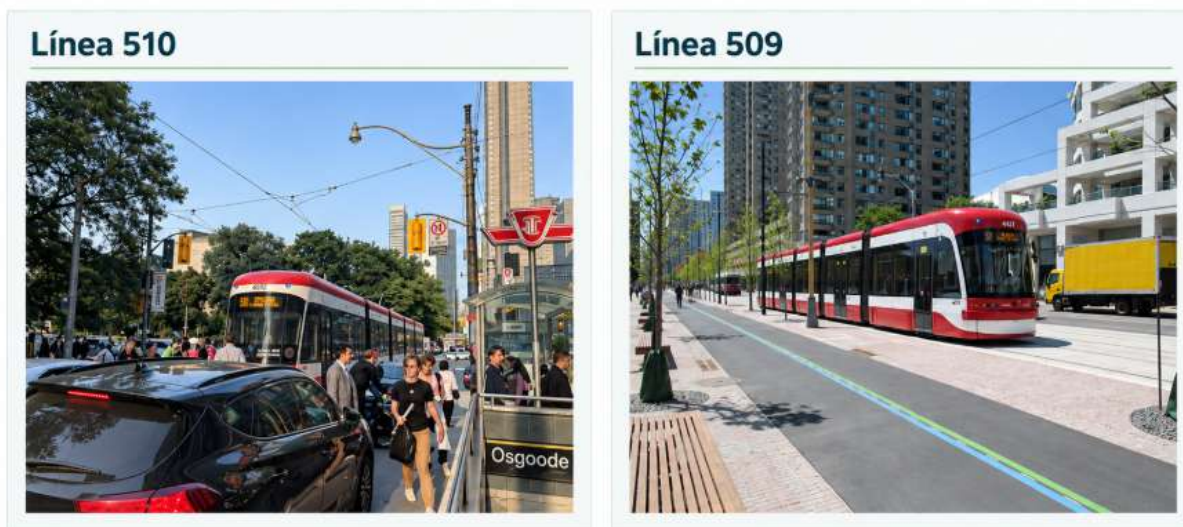
4.2. Experiencias internacionales

4.2.1 Ejemplos de sistemas basados en tranvías sobre rieles

a) Tranvía de Toronto.

El sistema de tranvías de Toronto es uno de los más antiguos del mundo en funcionamiento continuo. A diferencia de la mayoría de las ciudades norteamericanas, que desmantelaron sus redes de tranvía a mediados del siglo XX, Toronto lo mantuvo. Hoy la red comprende 11 líneas, y 83 km de extensión, con una demanda aproximada de 220.000 pasajeros por día hábil. Dentro del sistema conviven líneas bien priorizadas y con buenas velocidades circulatorias junto a líneas que circulan en tráfico mixto y sin ningún tipo de prioridad circulatoria.

Ilustración 1 | Tranvía de Toronto



Imágenes: <https://www.ttc.ca/>

Mientras que en la línea 509 se alcanzan muy buenas velocidades comerciales, mayores a los 30 km/h, las cuales son producto de una priorización circulatoria completa, que incluso incluye un tramo soterrado de 600 m en el centro financiero de Toronto, en el otro extremo, en el caso de la línea 510, la circulación del tranvía ocurre en condiciones de tráfico mixto (por la multiplicidad de cruces vehiculares a la izquierda donde los vehículos invaden el carril circulatorio del tranvía) y sin prioridad circulatoria, lo cual se traduce en muy bajas velocidades circulatorias en torno a los 10 km/h.

El ejemplo de Toronto muestra con claridad cómo el modo no determina la calidad del servicio, y bajo un mismo modo (tranvía en este caso) pueden convivir líneas con buena velocidad y frecuencia previsible, como la citada línea 509 junto a líneas sin prioridad circulatoria, imprevisibilidad en la frecuencia y un nivel bajo de calidad, como es el caso de la línea 510.

b) Tranvía de Alicante.

El tranvía de Alicante se puso en servicio en el año 1999, como parte de la reintroducción de los tranvías en el formato moderno en España que luego se ha expandido por varias ciudades del mundo. A partir del año 2003, el recorrido se hizo metropolitano, utilizando configuraciones de tren-tram, adecuadas tanto para tramos urbanos con menores distancias entre paradas, como para tramos suburbanos que permiten desarrollar mayores velocidades circulatorias. Actualmente la red suma 131 km repartidos en 6 líneas, que combinan tramos puramente tranviarios en el casco urbano de Alicante con tramos de tren-tram metropolitanos.

Ilustración 2 | Tranvía de Alicante

Tramo en superficie



Tramo en estación



Imágenes: <https://tramalicante.info/>

El desempeño de las líneas varía de acuerdo al tramo. Así, en los tramos urbanos, las velocidades se ubican en los 20 km/h y en los tramos metropolitanos por encima de los 30 km/h, asociado a una mayor distancia entre paradas.

Las 6 líneas se encuentran bien priorizadas en su circulación, tanto en tramos urbanos como metropolitanos, y puede decirse que esto es parte de la explicación del buen desempeño del

sistema. Una particularidad del mismo es que para asegurar la prioridad circulatoria en el centro urbano histórico y comercial, el recorrido es completamente soterrado en un tramo de 1 km donde se encuentran 3 estaciones y se registran en hora pico unas 20 frecuencias por hora/sentido entre las 4 líneas que circulan ese tramo.

c) Tranvía de Medellín.

El tranvía de Medellín fue inaugurado en 2016 y cuenta con la particularidad de utilizar la tecnología Translohr que utiliza ruedas de caucho, lo cual es adecuado para superar las pendientes pronunciadas de su recorrido, lo cual sería imposible utilizando rieles. Al tratarse de una tecnología propietaria, presenta limitaciones propias del uso de tecnologías no estandarizadas, como ser la dependencia de un proveedor único.

La línea tiene una extensión de aproximadamente 4,3 km y cuenta con 9 estaciones en total, desarrollando una velocidad comercial baja, de unos 15 km/h, producto de un trazado que comparte espacio vial con tráfico vehicular y peatonal en buena parte de su recorrido, algo típico de los sistemas de tranvía urbano. En cuanto a frecuencias, en hora pico los tranvías pasan aproximadamente cada 6 minutos.

Ilustración 3 | Tranvía de Medellín



Imágenes: <https://www.metrodemedellin.gov.co/usuarios/sistema-integrado/linea-t>

El ejemplo de Medellín muestra cómo un tranvía inserto en la trama urbana, sin condiciones de prioridad en su circulación, ofrece velocidades comerciales bajas, lo cual no es un problema grave en trazados cortos como este caso, con solo 4 km de extensión. La operación también queda expuesta a las afectaciones propias de la circulación en superficie para modos guiados, lo cual incluye varios episodios de suspensión de servicios. Por ejemplo, durante el año 2023, se registraron 137 incidentes viales que afectaron el servicio del tranvía, con interrupciones de hasta 4 horas en el servicio. Esto incluso ha ameritado comunicaciones específicas de su

empresa operadora, Metro de Medellín, intentando generar mejores condiciones para la circulación del tranvía⁶.

d) Tranvía de Valencia.

La ciudad de Valencia fue la pionera en la reintroducción del tranvía en su formato moderno en España a partir de 1994. Su sistema tranviario se compone de cuatro líneas principales de tranvía, las líneas 4, 6, 8 y la recientemente inaugurada línea 10, entre las cuales suman unos 35 km de red. La Línea 4 fue la primera línea inaugurada y es la arteria troncal del sistema, con 17 km de longitud y 33 paradas, operando tranvías a una frecuencia de 5 min en hora pico. La última línea inaugurada es la línea 10, con una extensión de 5 km y 8 paradas, y operando tranvías con frecuencia de 8 min en hora pico.

Tanto la línea 4 como la 10 presentan segregación completa en sus recorridos, pero en el caso de la línea 4 presenta una menor distancia entre paradas, así como una mayor interacción con intersecciones semaforizadas, con frecuentes arranques y frenadas, todo lo cual determina una velocidad comercial media/baja, de unos 15 km/h.

El caso de la línea 10 presenta dos tramos bien disímiles, por un lado, un tramo de 3,2 km a nivel donde hay 5 paradas, con lo cual el tranvía casi no alcanza a sostener su velocidad máxima, antes de tener que empezar a frenar para la siguiente parada. También tiene un tramo soterrado de 2 km con 3 paradas, donde puede desarrollar velocidades mayores, alcanzando una velocidad media algo superior a los 20 km/h.

Ilustración 4 | Tranvía de Valencia



Imágenes: <https://www.metrovalencia.es/>

6

<https://www.metrodemedellin.gov.co/al-dia/noticias/el-metro-de-medellin-invita-a-todos-los-actores-viales-a-transitar-con-cuidado-por-el-corredor-tranviario>

El ejemplo de Valencia muestra cómo bajo un mismo modo, pueden convivir servicios con características disímiles, y cómo el desempeño final no depende del modo (en este caso, ambos son tranvías), sino de sus características de diseño como ser prioridad circulatoria, tratamiento de las intersecciones y distancia entre paradas.

4.2.2. Ejemplos de sistemas basados en buses sobre ruedas.

a) Busway de Nantes.

El Busway de Nantes es el sistema de BRT de la ciudad francesa de Nantes, inaugurado en 2006 como una de las primeras implementaciones de autobús de alto nivel de servicio (BHLS) de Francia. Resulta significativo que la línea, denominada "Línea 4", se numeró como continuación directa de las líneas 1, 2 y 3 del tranvía de Nantes. Nantes optó por BRT en lugar de sumar una cuarta línea de tranvía, construyendo la infraestructura con estándares equivalentes a los de un sistema ferroviario ligero (plataformas de acceso a nivel, carril exclusivo segregado, y estaciones de calidad).

Ilustración 5 | Busway de Nantes



<https://www.urban-transport-magazine.com/en/nantes-launches-e-busway-with-bi-articulated-buses/>

El corredor opera con una frecuencia de 2 a 3 minutos y alcanza una buena velocidad comercial de 21 km/h en base a su priorización circulatoria y embarque por múltiples puertas. Inicialmente circuló con una flota de 23 buses articulados a gas natural comprimido, pero en 2020 se electrificó por completo, incorporando 22 buses biarticulados eléctricos de 25 metros. El caso de Nantes muestra un ejemplo de una ciudad que ya contaba con un sistema basado en rieles y para ampliar su red troncal, evaluó que un BRT bien diseñado (con los mismos estándares de infraestructura que un sistema ferroviario) podía cumplir un rol equivalente a menor costo.

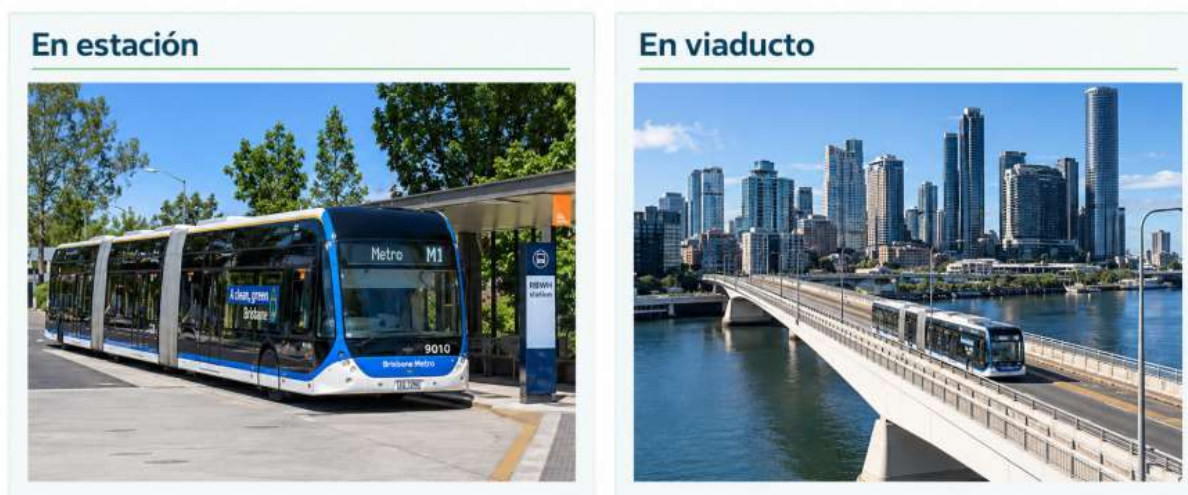
b) Metro de Brisbane.

Se trata de un sistema BRT de 21 km, con 18 estaciones, que reutiliza en gran parte la infraestructura de circulación exclusiva ya existente, sumando una nueva estación subterránea (King George Square) y un puente (Victoria Bridge) reservado exclusivamente para el sistema.

Inaugurado en el año 2025, opera 60 buses biarticulados 100% eléctricos de 25 metros, que operan frecuencias de 3 minutos en hora pico, transportando más de 3.000 pasajeros hora/sentido. Más del 40% de los pasajeros llega a través de líneas alimentadoras que conectan con el troncal, caracterizando el mismo como modelo tronco-alimentado.

La implementación del sistema fue precedida de importantes discusiones acerca de si Brisbane debía ir o no a un sistema basado en rieles. La apuesta del ayuntamiento de Brisbane fue diseñar un sistema con las características que usualmente acompañan a los sistemas basados en rieles, pero utilizándose en un sistema basado en buses, con una inversión considerablemente menor.

Ilustración 6 | Metro de Brisbane



Imágenes: <https://metro.brisbane.qld.gov.au/metro-fleet>

El sistema logra velocidades comerciales muy altas, por encima de los 30 km/h, en base a infraestructura que permite la circulación en completa exclusividad, pero también a una distancia entre paradas elevada, de 1,2 km. Esto último, si bien tiene un impacto positivo en la velocidad comercial y los tiempos de viaje, puede impactar negativamente en la accesibilidad a pie de las personas al sistema.

Desde un punto de vista técnico, corresponde a un BRT de alto estándar, aunque su denominación comercial sea “Metro”.

c) Trolebús de Quito.

El Trolebús de Quito es uno de los pioneros de América Latina en adoptar el modelo de carril exclusivo inspirado en Curitiba (Brasil). El sistema inició su operación en 1995 con trolebuses

articulados y en el año 2025, el sistema atravesó su mayor renovación de flota con la incorporación de 60 nuevos trolebuses articulados 100% eléctricos, diseñados específicamente para adaptarse a las características de Quito.

La línea de Trolebús atiende 200.000 pasajeros/día sobre su recorrido de 24 km, llegando a operar en hora pico más de 80 frecuencias/hora y trasladando unos 15.000 pasajeros hora/sentido en el tramo de mayor carga. La velocidad comercial promedio del sistema es de 18 km/h, lo que se considera una velocidad baja para este tipo de servicios. Esta velocidad es resultado de un grado de priorización de la circulación relativamente bajo puesto que, si bien en parte de su recorrido cuenta con carril exclusivo segregado y estaciones cerradas con embarque por varias puertas, esa segregación física no es completa ni homogénea a lo largo de todo el corredor.

Ilustración 7 | Trolebús de Quito



Imágenes: <https://pasajeros.quito.gob.ec/?p=12808>

El sistema opera bajo un esquema de troncal-alimentador con múltiples "circuitos" superpuestos (varias rutas comparten un mismo tramo troncal), lo que genera una sobrecarga de unidades circulando sobre el mismo carril y reduce la velocidad por congestión interna del propio sistema. El resultado es un sistema de alta capacidad, pero con previsibilidad y velocidad más limitadas que las de sistemas con mayor segregación física (como el Metro de Brisbane), lo que confirma que la combinación de segregación, espaciamiento de paradas y gestión operativa determina el desempeño final.

d) Línea 4 Metrobús Ciudad de México

Es un caso particular dentro del sistema Metrobús de Ciudad de México, pensado específicamente para operar en el Centro Histórico de la capital mexicana. A diferencia del resto de las líneas del sistema, que circulan en corredores exclusivos, utilizan estaciones elevadas y buses articulados o biarticulados de gran porte, la Línea 4 fue diseñada con estaciones a nivel de calle y paradas de tipo poste. También es la única línea que opera con autobuses de piso bajo de 12 metros y en la que el pago se realiza dentro del vehículo.

Ilustración 8 | Línea 4 Metrobús Ciudad de México

En corredor urbano



En estación

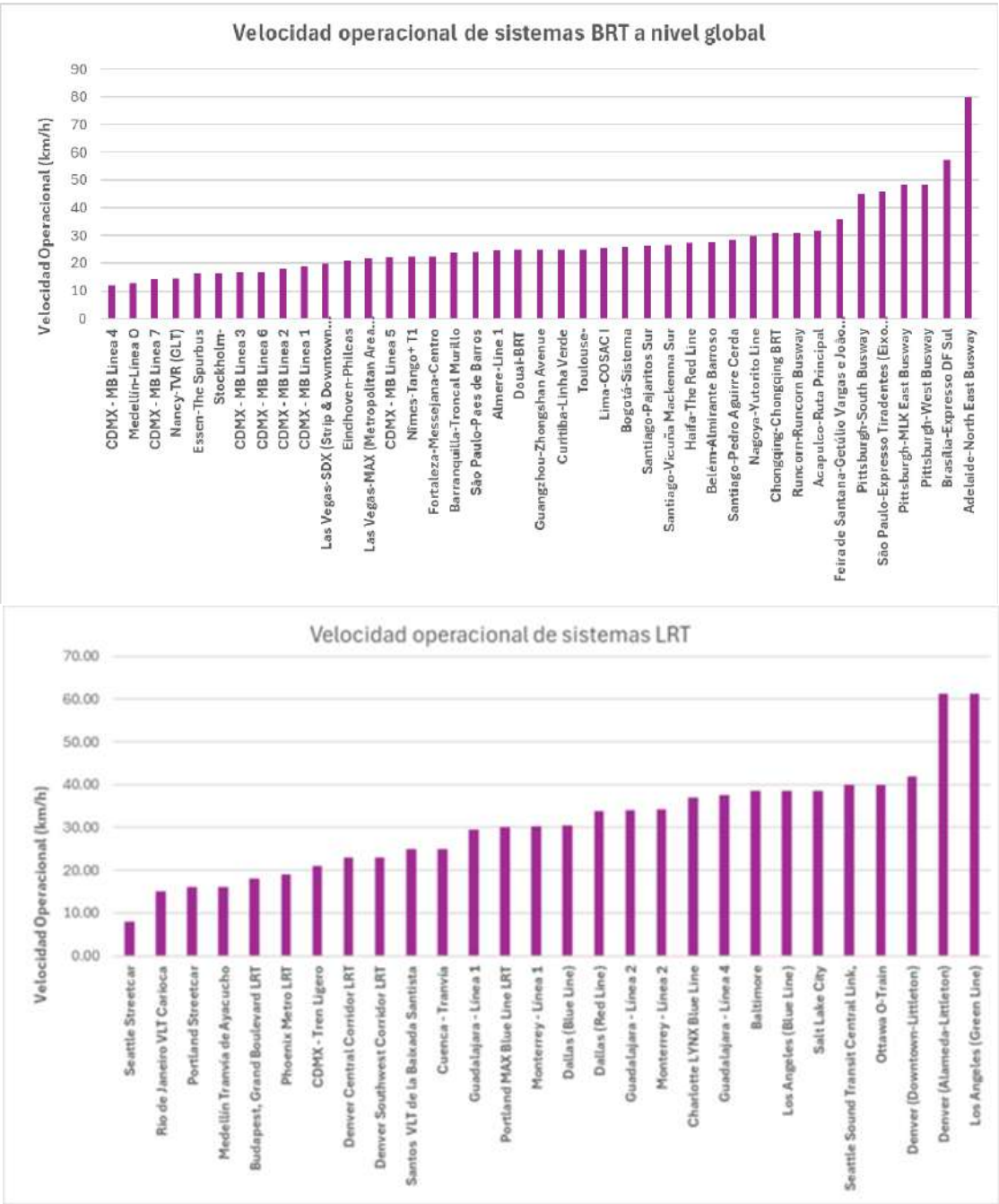


Fuente: <https://www.milenio.com/politica/comunidad/metrobus-cdmx-ampliacion-linea-4-85-avance-sheinbaum>

Estas decisiones de diseño explican en gran medida por qué la Línea 4 es hoy la más lenta del sistema, y la más irregular e imprevisible, con una velocidad comercial de apenas 13 km/h frente a otras que alcanzan los 19 km/h en otras líneas. El menor grado de segregación física, el pago a bordo y la intensa actividad comercial y peatonal propia del Centro Histórico generan una mayor fricción operativa, con las consecuencias negativas señaladas.

Los casos analizados muestran que el modo de transporte, por sí solo, no determina el desempeño operacional del servicio —en términos de frecuencia, tiempo de viaje y previsibilidad—. Estos atributos dependen en gran medida de las condiciones de diseño, infraestructura y operación, como el grado de segregación, la prioridad de circulación, el tratamiento de las intersecciones y la distancia entre paradas. Por ello, dentro de ambas alternativas analizadas, LRT y BRT, pueden encontrarse sistemas con desempeños muy diferentes y velocidades comerciales tanto altas como bajas, como se observa en el Gráfico 1.

Gráfico 1: Velocidad circulación sistemas LRT y BRT



Fuente: “Análisis comparativo de alternativas modales para Montevideo” REDES y AIC.

4.3. Capacidad y demanda del AM

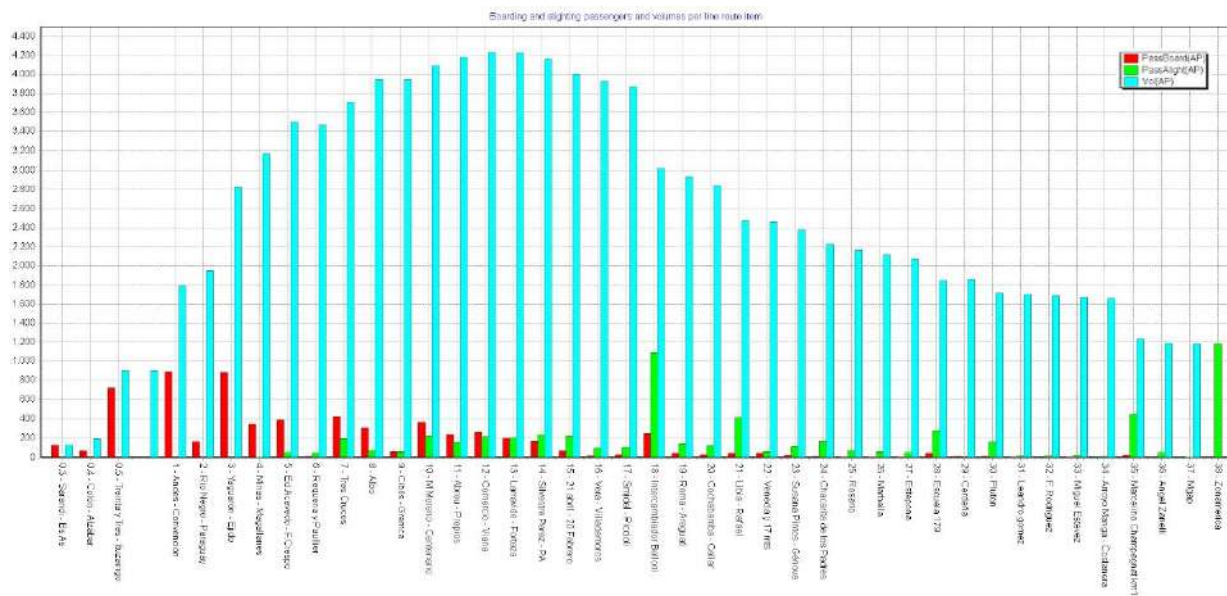
La capacidad de transportar pasajeros es una variable clave y puede determinar la elección de un modo de transporte sobre otro. Sin embargo, esto solo es cierto a partir de ciertos umbrales de demanda donde o bien solo el modo férreo es viable, o bien el servicio podría ser prestado mediante un servicio de BRTs, pero con grandes requerimientos de espacio público para viabilizar la circulación exclusiva.

Esto es así puesto que, en los sistemas basados en buses, la capacidad máxima de una unidad puede llegar a ubicarse en los 250 pasajeros, mientras que, en el caso de los sistemas férreos, es posible generar formaciones en superficie con capacidad de hasta 500 pasajeros al acoplar 2 formaciones de 5 vagones o incluso en formaciones únicas de 55 metros, como es el caso del tranvía de Dublín.

La posibilidad de transportar una mayor cantidad de pasajeros por unidad, como ocurre con el LRT, comienza a constituir una ventaja para umbrales de demanda que, dependiendo de características específicas de diseño del proyecto, se ubican en 8.000 a 10.000 pasajeros hora/sentido⁷, ya que los vehículos con mayor capacidad permiten tener un intervalo más abierto, minimizando de ese modo la posibilidad de que se generen agrupamientos (bunching) de unidades que afecten la regularidad en la frecuencia. A partir de ese umbral de demanda mencionado, los BRT requieren carriles de sobrepaso y múltiples estaciones para poder mantener las frecuencias estables.

En el AM, la mayor demanda registrada ocurre en el corredor 8 de Octubre, con 4.300 pasajeros hora/sentido, que se ubica en torno a la mitad de los umbrales mencionados a partir de lo cual se requiere pensar en la utilización del modo férreo o bien se requiere contar con carriles de sobrepaso un sistema basado en buses de gran porte. En el caso del otro corredor donde se prevé intervenir, el corredor Av. Italia, la demanda máxima no supera los 2.500 pasajeros hora/sentido, muy por debajo de los umbrales máximos mencionados.

⁷ “Los sistemas en ciudades como Curitiba, Ciudad de México y Quito, que utilizan un solo carril en cada dirección, pueden alcanzar capacidades de aproximadamente 8.000 a 10.000 pasajeros por hora antes de sufrir sobrecargas.” <https://brtguide.itdp.org/branch/master/guide/why-brt/performance>

Gráfico 2: Pasajeros transportados Corredor 8 Octubre (pasajeros/hora/sentido)

Fuente: REDES. (2026) Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas

En síntesis, para los niveles de demanda previstos en el AM, con máximos de 4.300 pasajeros hora/sentido en hora pico, tanto el BRT como el LRT ofrecen capacidad suficiente y niveles comparables en los principales atributos de servicio, siempre que operen bajo condiciones equivalentes de infraestructura y prioridad. Recién a partir de umbrales que se sitúan entre 8.000 y 10.000 pasajeros hora/sentido, sería necesario agregar carriles de sobrepaso para sistemas basados en buses, con la consiguiente utilización de espacio público adicional, o bien sería necesario considerar alternativas férreas, con vehículos de mayor capacidad unitaria.

En consecuencia, la capacidad de transporte no constituye una variable determinante para elegir entre ambas alternativas en el AM. La decisión debe considerar, por tanto, las restantes diferencias entre ellas, incluyendo sus requerimientos de infraestructura, desempeño energético y ambiental, características operativas, costos de inversión y operación.

5. La velocidad importa⁸

Los apartados anteriores mostraron que la velocidad comercial depende fundamentalmente de las condiciones de prioridad e infraestructura bajo las cuales opera el servicio. Esto adquiere particular relevancia para el proyecto del AM, donde uno de los objetivos centrales es elevar la velocidad comercial desde los aproximadamente 16 km/h actuales hasta valores en torno a 25 km/h. Alcanzar ese objetivo exige que la infraestructura resuelva adecuadamente los principales puntos de interferencia y congestión.

La velocidad importa, y no como algo desconectado de las personas, sino porque su tiempo es un recurso finito, y el tiempo que cada persona dedica a sus traslados, es un indicador de acceso a oportunidades laborales, de educación, salud y esparcimiento, sobre todo para las personas más desfavorecidas, que dependen en forma completa del transporte público para sus desplazamientos. La velocidad comercial y su consecuencia en el tiempo de viaje, es clave para que las personas accedan a una mayor variedad de oportunidades, y por tanto, a un mayor nivel de bienestar.

La velocidad comercial no constituye una variable exclusivamente técnica: junto con la frecuencia y la confiabilidad, incide directamente en el tiempo disponible de las personas y en su acceso efectivo a oportunidades. Marco Chitti⁹ también advierte que la confiabilidad, aunque necesaria, no es suficiente por sí sola: un sistema que cumple religiosamente sus horarios pero que es demasiado lento, seguirá restando a las personas tiempo que podrían destinar a otras actividades, y alejándolas de sus mejores opciones, o volcándolas al uso del automóvil.

Para el caso del AM, una velocidad comercial promedio actual de 16 km/h para el transporte público resulta claramente insuficiente frente a un objetivo de referencia de 25 km/h (un valor comparable al de líneas de metro de varias ciudades de la región) y frente a la velocidad promedio de circulación del automóvil en Montevideo (21-22 km/h). En este contexto, la definición de la tecnología troncal no puede desatender el criterio de velocidad.

Si la velocidad, la regularidad y previsibilidad importan, las inversiones necesarias en infraestructura deben dirigirse a garantizar condiciones adecuadas de prioridad y continuidad de circulación, independientemente de que la tecnología seleccionada sea BRT o LRT.

Esta exigencia es común a ambos modos, sin embargo, cuando para garantizar tales condiciones, se requieren soluciones a desnivel, las características geométricas del LRT implican mayores exigencias de infraestructura y mayores costos que las del BRT.

Parte de las infraestructuras necesarias para priorizar la circulación de la línea, consisten en intervenciones soterradas que o bien permiten resolver las intersecciones principales del trazado de la línea, garantizando la prioridad absoluta al transporte público, o bien permiten circular por tramos o secciones donde la circulación en superficie sería lenta e irregular.

⁸ El título es tomado de un artículo de Marco Chitti: "Speed matters" (la velocidad importa)

Disponible en: <https://marcochitti.substack.com/p/speed-matters>

⁹ Ver referencia anterior.

Estas intervenciones soterradas requieren una mayor inversión en el caso del LRT puesto que el mismo requiere de una mayor altura (gálibo) así como de rampas de entrada y salida más extensas, puesto que la menor adherencia que implica el contacto de las ruedas de metal del LRT contra el riel, comparado a la mayor adherencia de un neumático contra el pavimento, requiere una longitud de rampa con menor pendiente, y, en consecuencia, de mayor longitud.

Para el caso concreto del proyecto, esto adquiere una particular relevancia puesto que se prevén múltiples intervenciones soterradas, o bien para asegurar la prioridad de circulación de la línea en las intersecciones principales, o bien para resolver la circulación en la zona de Tres Cruces. Parte importante del éxito del proyecto de transporte para el AM, se juega en resolver de forma eficiente la circulación en la confluencia de ambas líneas (8 Octubre y Av. Italia) en el nodo de Tres Cruces y en su vínculo con la Terminal de pasajeros, así como en el ingreso al centro.

Tres Cruces es una de las zonas de mayor congestión vehicular del AM, donde confluyen Av. Italia, 8 de Octubre, Bulevar Artigas, Ferrer Serra y Víctor Haedo, entre otras vías. En este contexto, el túnel de 8 de Octubre cumple una función relevante, descomprimiendo parte de la congestión vehicular que allí se genera, al permitir la continuidad de la circulación hacia 18 de Julio tanto para el transporte público como para el tránsito general.

Ilustración 9 | Túnel 8 de Octubre

Acceso al túnel



Para cumplir los objetivos de velocidad y regularidad del proyecto, cualquier alternativa considerada debería resolver adecuadamente los principales nodos de congestión, evitando trasladar esa restricción a los pasajeros mediante mayores tiempos de viaje.

Dado que este tipo de obras es muy importante para el nivel de servicio que la línea es capaz de ofrecer, tanto los tranvías como los BRT que aspiran a un nivel de calidad superior, incurren en este tipo de obras y sus costos asociados, como muestran los ejemplos de los LRT de Alicante y Valencia o el caso de los BRT de Brisbane y Boston.

El tranvía de Alicante presenta un recorrido subterráneo de unos 1.000 mt y 3 estaciones bajo el casco histórico y comercial de Alicante, lo cual permite que las 4 líneas del tranvía que confluyen ahí circulen con prioridad absoluta. El segundo tramo, actualmente en obra, conectará la estación de Luceros con una futura Estación Intermodal de trenes de media y larga distancia. En el caso del tranvía de Valencia, la Línea 10, tiene 2 km de recorrido bajo tierra, con 3 estaciones. Las líneas 4, 6 y 8, no tienen tramos soterrados actualmente, pero sí hay soterramientos planificados dentro del plan de modernización 2026-2030.

El BRT de Boston, conocido como Silver Line, presenta un tramo soterrado de casi 2 km con tres estaciones subterráneas: South Station, Courthouse y World Trade Center. En el caso del BRT de Brisbane, fue inaugurado en el año 2025 e incluye un tramo soterrado de 250 metros que incluye una estación bajo tierra, pero también se ha construido un puente de 300 mts exclusivo para la circulación del transporte público.

En síntesis, para alcanzar los objetivos de velocidad y regularidad definidos para el proyecto, ciertos puntos en el AM, entre ellos, el nodo de Tres Cruces, requieren una resolución que preserve la circulación a desnivel, incluyendo el aprovechamiento de la infraestructura existente, independientemente de que la tecnología seleccionada sea BRT o LRT. La diferencia es que estas infraestructuras presentan mayores exigencias geométricas y de inversión en el caso del LRT.

6. Comparación entre alternativas: BRT y LRT

Los capítulos anteriores muestran que tanto el BRT como el LRT pueden atender la demanda prevista y alcanzar niveles comparables en los atributos centrales de servicio, siempre que cuenten con condiciones equivalentes de prioridad e infraestructura. La elección modal depende, por tanto, de las diferencias que permanecen entre ambas alternativas, particularmente en sus requerimientos de infraestructura, desempeño energético y ambiental, costos, características operativas y potencial de captación de pasajeros.

6.1. Comparación energética y ambiental

La transformación propuesta del sistema de transporte público metropolitano implica, tanto para la alternativa BRT como para LRT, una mejora ambiental sustantiva respecto de la situación actual. Ambas alternativas consideran tracción eléctrica y, por tanto, eliminan durante la operación las emisiones directas locales, así como de emisión de material particulado asociado a la combustión de gasoil, incluyendo gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos.

En el contexto uruguayo, caracterizado por una matriz de generación eléctrica con elevada participación de fuentes renovables, la electrificación del transporte reduce además de forma muy significativa las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía, y representa un factor de estabilidad en la estructura de costos.

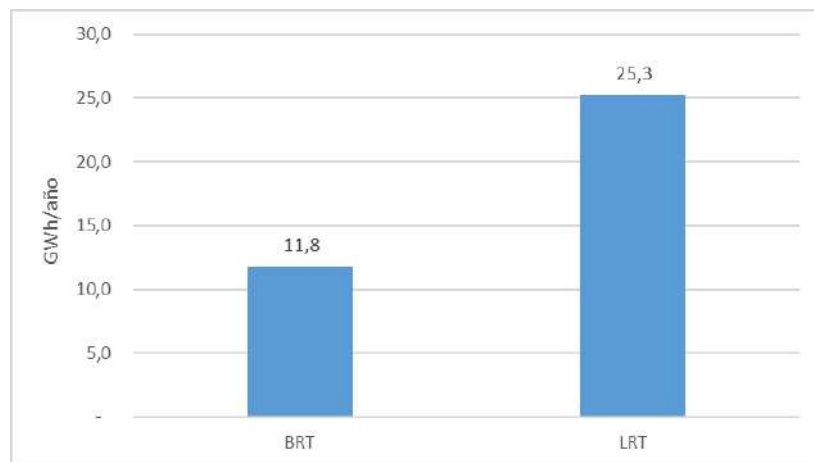
En la configuración analizada para el AM, el BRT presenta un menor consumo energético y menores emisiones indirectas asociadas a la operación. Los estudios realizados concluyen un consumo energético 50% menor en el caso del BRT que del LRT.

Además, en el caso del BRT, ese consumo energético, que es 50% inferior al del LRT, ocurre durante las horas de la noche, lo cual es complementario con la matriz de generación eléctrica del país que presenta excedentes energéticos nocturnos. Por esta razón, se beneficia de las tarifas nocturnas, que son significativamente menores a las vigentes durante el día. La conjunción de ambos elementos, menor consumo energético y menores tarifas de energía, hacen que el gasto en energía del BRT sea 1/4 del gasto en energía del LRT¹⁰.

6.1.1. Consumo energético y emisiones durante la operación

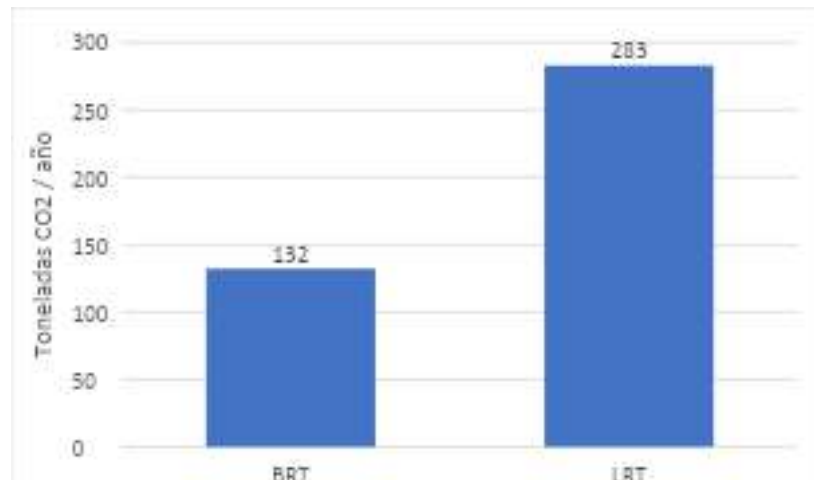
El estudio comparativo estima un consumo energético anual de aproximadamente 12 GWh para el BRT y 25 GWh para el LRT. En consecuencia, para atender la misma demanda de pasajeros y prestar los servicios previstos, el LRT requeriría algo más del doble de energía eléctrica que el BRT.

¹⁰ Para consultar con mayor detalle los cálculos energéticos y ambientales presentados, se puede acceder al estudio completo: "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" REDES-AIC.

Gráfico 3. Estimación de consumo anual por modo de transporte (GWh/año)

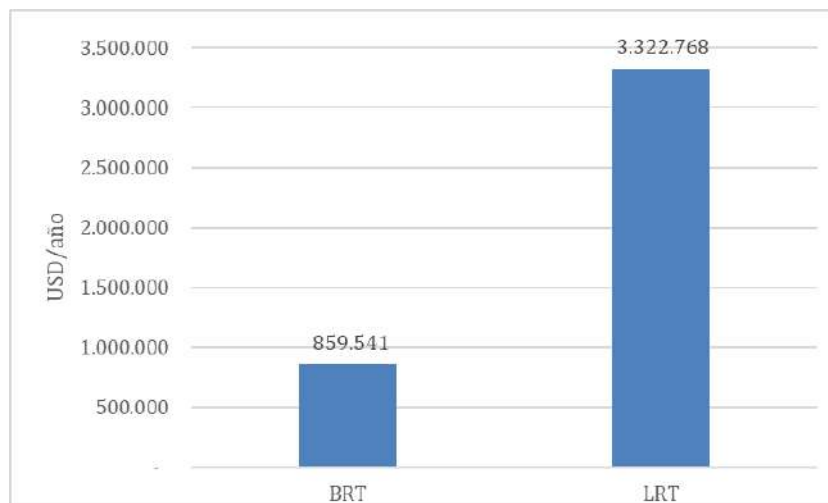
Fuente: Análisis comparativo de alternativas modales para AM-REDES

Esta diferencia se refleja también en las emisiones indirectas de CO₂ asociadas a la generación eléctrica. El mismo estudio estima aproximadamente 132 toneladas de CO₂ anuales para el BRT y 283 toneladas para el LRT.

Gráfico 4. Estimación de emisiones de CO₂ anuales por modo de transporte

Fuente: Análisis comparativo de alternativas modales para AM- REDES

Esta diferencia energética tiene además una consecuencia económica relevante. En términos monetarios, la diferencia es apreciable, en una relación de 4 a 1 favorable al BRT. Mientras que en el caso del LRT, el gasto anual en energía asciende a USD 3,3 millones, en el caso del BRT el gasto se ubica por debajo de USD 1 millón.

Gráfico 5. Gasto anual en energía BRT y LRT (USD/año)

Fuente: Análisis comparativo de alternativas modales para AM-REDES

6.1.2. Ruido y vibraciones

Ambas alternativas presentan mejoras importantes respecto de la flota diésel actual debido a la eliminación del ruido generado por motores de combustión.

Entre las alternativas eléctricas existen, no obstante, algunas diferencias. En el LRT, la interacción entre rueda y riel genera ruido y vibraciones que pueden resultar perceptibles, particularmente en curvas, cambios de vía y determinados sectores de la traza. Estos efectos pueden mitigarse mediante soluciones de diseño, mantenimiento de vías y material rodante y medidas específicas de aislamiento.

En la configuración analizada, el BRT presenta por este motivo una ventaja relativa principalmente en materia de vibraciones y en la ausencia de las fuentes específicas de ruido asociadas al contacto rueda-riel, aunque en ambos casos el desempeño acústico esperado es sustancialmente mejor que el del sistema diésel actual.

6.1.3. Baterías y gestión al final de su vida útil

La utilización de buses eléctricos introduce un aspecto ambiental específico que no está presente en el LRT: el uso de baterías de gran capacidad y su gestión al finalizar la vida útil de los vehículos.

El estudio comparativo considera una vida útil de aproximadamente 7,5 años para las baterías del BRT, lo que implica reposiciones durante el horizonte de operación cuyo costo debe ser considerado en la comparación, así como los impactos ambientales asociados a su disposición final que deben ser incorporados a la gestión del proyecto.

Sin embargo, el fin de la vida útil de una batería para uso vehicular no implica necesariamente su disposición como residuo. Actualmente existen alternativas de reutilización en aplicaciones

menos exigentes (almacenamiento estacionario de energía) y tecnologías de reciclaje que permiten recuperar una proporción relevante de los materiales contenidos en las baterías y reincorporarlos a los procesos productivos. El desarrollo tecnológico y regulatorio internacional avanza además hacia mayores niveles de recuperación, reciclaje y circularidad de estos componentes.

En consecuencia, la presencia de baterías constituye un impacto ambiental específico del BRT, pero su magnitud puede reducirse significativamente mediante una adecuada gestión de su ciclo de vida. El proyecto debe prever desde su diseño mecanismos de trazabilidad, recuperación, eventual segunda vida y reciclaje, evitando que su disposición final constituya la alternativa habitual.

6.1.4. Conclusión de la comparación ambiental y energética

Desde el punto de vista ambiental, la transformación más relevante es la sustitución de un sistema basado mayoritariamente en vehículos diésel por alternativas de tracción eléctrica, donde tanto el BRT como el LRT permiten reducir drásticamente las emisiones locales y las emisiones de CO₂ asociadas a la operación.

En la configuración analizada para el AM, el BRT presenta ventajas significativas puesto que requiere aproximadamente la mitad del consumo energético del LRT, genera menos de la mitad de las emisiones y un cuarto del gasto anual en energía.

En conjunto, la dimensión ambiental y energética resulta compatible con la elección del BRT y aporta elementos adicionales a su favor. La elección requiere, no obstante, una adecuada gestión del ciclo de vida de las baterías¹¹ y medidas de diseño, construcción y operación orientadas a minimizar los impactos ambientales remanentes.

6.2. Comparación económica

La transformación del sistema de transporte público metropolitano requiere una inversión significativa de recursos públicos. En este contexto, la elección de la tecnología no determina únicamente las características físicas y operativas del nuevo sistema, sino también la magnitud de los recursos que la sociedad deberá destinar a su construcción, operación y mantenimiento durante las próximas décadas.

La comparación económica entre alternativas resulta determinante cuando, como en este caso, los modos considerados permiten alcanzar resultados comparables en varios de los atributos centrales del servicio, como lo son frecuencia, tiempo de viaje y previsibilidad, tal cual fue desarrollado en las secciones anteriores. Tanto el BRT como el LRT fueron dimensionados para atender la misma demanda y generar mejoras sustantivas en estos atributos, por lo que las diferencias de costos resultan en una comparativa clave para la elección modal.

¹¹ Este es un problema asociado a la movilidad mediante baterías, tanto del transporte público como privado, siendo más relevante en este último caso, donde para 2026 se prevé el ingreso de 30.000 vehículos eléctricos distribuidos en decenas de miles de propietarios, lo cual lo hace mucho más difícil de gestionar que las baterías de las 100 unidades biarticuladas que este proyecto demanda.

A estos efectos, se realizó un estudio comparativo y pormenorizado de los costos¹² relevantes entre las distintas alternativas consideradas y al cabo del ciclo de vida considerado de 30 años, pero aquí solo se presenta el análisis realizado para las opciones de BRT y LRT como alternativas adecuadas para los niveles de demanda que se verifican en el AM.

Los costos considerados en el análisis fueron los siguientes:

- **Inversión inicial (CAPEX):** recursos necesarios para construir la infraestructura, adquirir el material rodante y disponer del equipamiento y los sistemas requeridos para la puesta en funcionamiento.
- **Costos de operación y mantenimiento (OPEX):** gastos anuales necesarios para prestar el servicio y conservar la infraestructura y los equipos. En la medida que la comparación incluye alternativas que presentan distinta vida útil, también se incluyó la necesidad de realizar inversiones en reposición (**REPEX**).
- **Costo Total de Propiedad (TCO):** costo total del sistema durante el horizonte de análisis de 30 años, incorporando las inversiones iniciales, los costos de operación y mantenimiento, las reposiciones de activos y los valores residuales, y considerando además que los desembolsos se producen en distintos momentos del tiempo.

La comparación no constituye por sí sola una evaluación socioeconómica integral de cada alternativa, la cual se realizará para el proyecto definido¹³. No obstante, permite determinar la magnitud de los recursos requeridos para alcanzar las prestaciones previstas por cada alternativa, y analizar si las eventuales ventajas adicionales de una tecnología guardan relación con el costo incremental necesario para obtenerlas.

6.2.1. Inversión inicial (CAPEX)

Las alternativas consideradas requieren componentes comunes de inversión, principalmente obra civil, material rodante y equipamiento de estaciones, y otros específicos de cada tecnología. En el caso del BRT, se requiere además infraestructura de recarga eléctrica, mientras que el LRT incorpora sistemas ferroviarios asociados a las vías, alimentación de tracción, control y señalización de trenes, sistemas electromecánicos y telecomunicaciones.

Las diferencias de inversión inicial son significativas. El CAPEX estimado asciende aproximadamente a USD 575 millones para el BRT y USD 1.544 millones para el LRT. Por lo

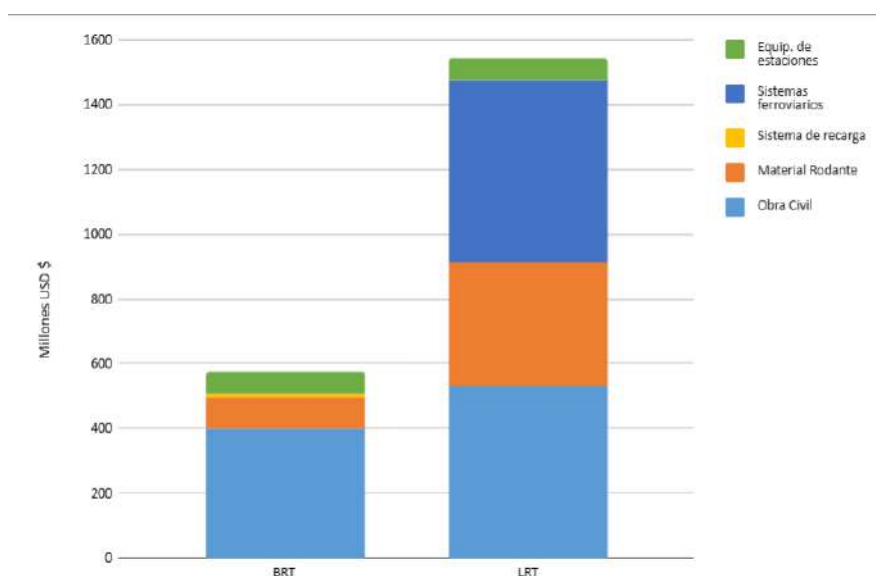
¹² Para consultar con mayor detalle puede acceder al estudio completo: "Análisis comparativo de alternativas modales para el Área Metropolitana de Montevideo con foco en los corredores 8 de Octubre - Cno. Maldonado - 18 de Julio - Av. Italia - Giannattasio" REDES-AIC.

¹³ Una evaluación económica integral requiere de cuantificar, además de los costos mencionados, los beneficios del proyecto. En los proyectos de transporte, la metodología habitual de evaluación de proyectos cuantifica como la principal fuente de beneficios los ahorros en los tiempos de viaje, a los cuales suma otros componentes como ser los beneficios medioambientales y disminución de accidentalidad, entre otros. En la medida que estos beneficios son similares entre las alternativas de BRT y LRT (incluso en el caso de los beneficios de ahorro en tiempo de viaje, los beneficios para BRT se esperarían fueran superiores por tener un menor intervalo y, por tanto, las personas tendrían un menor tiempo de espera en parada) la evaluación relevante ocurre mediante la comparación del costo total de propiedad, que incluye costos de inversión, reposición y operación al cabo de la vida útil considerada de 30 años.

tanto, la implementación del LRT demandaría una inversión inicial cercana a 2,7 veces la requerida para el BRT, con una diferencia aproximada de USD 1.000 millones.¹⁴

La mayor inversión del LRT se explica por varios componentes. La obra civil representa aproximadamente USD 132 millones adicionales respecto del BRT y la inversión en material rodante supera en aproximadamente USD 284 millones a la correspondiente a los buses. Sin embargo, el principal diferencial está constituido por los sistemas ferroviarios, cuya inversión se estima en aproximadamente USD 565 millones. En sentido contrario, el BRT solo requiere unos USD 12,5 millones en sistemas de recarga eléctrica que no están presentes en la alternativa ferroviaria.

Gráfico 6. Inversión inicial BRT y LRT (Millones de USD)



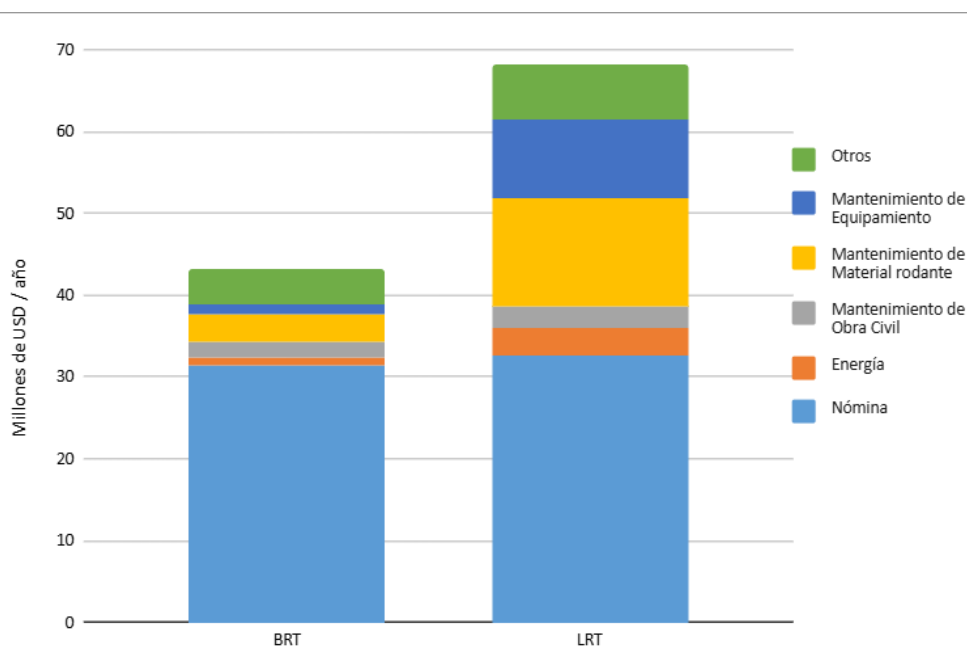
Elaboración propia en base al informe REDES. (2026) Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas

6.2.2. Costos de operación y mantenimiento (OPEX)

La comparación entre alternativas no debe limitarse a la etapa de construcción. La operación del sistema genera anualmente costos asociados: personal (conductores, operadores, maniobristas, personal en estaciones, de mantenimiento, de seguridad y vigilancia, etc.), consumo de energía, mantenimiento de la obra civil, conservación del material rodante, mantenimiento de estaciones y equipamiento, etc.

En este sentido, los costos anuales de operación y mantenimiento estimados ascienden a aproximadamente USD 43 millones para el BRT y USD 68 millones para el LRT. Esto implica un costo anual alrededor de 58% superior para la alternativa ferroviaria, equivalente a unos USD 25 millones adicionales por año.

¹⁴ El comparativo de inversión incluye las mismas infraestructuras para priorizar la circulación de la línea en ambas alternativas, tanto para BRT como LRT. Nos referimos a los cruces soterrados en Av. Italia y 8 de Octubre, así como a la circulación soterrada en la zona de Tres Cruces, lo cual requiere el rediseño del túnel de 8 de Octubre y obras en Plaza de la Bandera.

Gráfico 7. Gasto anual en operación y mantenimiento (Millones de USD/año)

Elaboración propia en base al informe REDES. (2026) Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas

Si bien existen diferencias en diversos componentes, una proporción importante del mayor OPEX del LRT se explica por los costos de mantenimiento del material rodante y del equipamiento especializado requerido por la tecnología ferroviaria.

6.2.3. Costo total durante el ciclo de vida

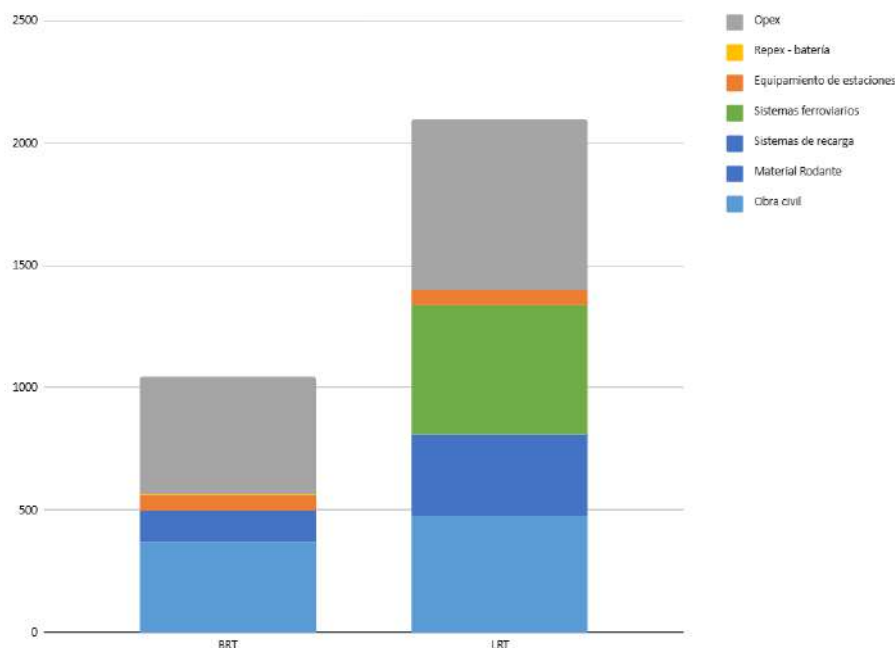
La comparación de la inversión inicial y de los costos anuales no es suficiente para evaluar adecuadamente las diferencias económicas entre tecnologías ya que los activos que integran cada sistema poseen vidas útiles diferentes y, en consecuencia, generan distintas necesidades de reposición a lo largo del tiempo.

En particular, los buses tienen una vida útil inferior (la mitad) a la del material rodante ferroviario y sus baterías requieren reposiciones adicionales.

Para considerar estos efectos, el estudio estimó el Costo Total de Propiedad (TCO) de ambas alternativas para un horizonte de 30 años y una tasa de descuento de 7,5%¹⁵. El indicador incorpora las inversiones iniciales, los costos de operación y mantenimiento, las reposiciones necesarias y el valor residual de los activos al finalizar el período, expresando todos los flujos en un valor equivalente al momento inicial.

El TCO estimado asciende aproximadamente a USD 1.043 millones para el BRT y USD 2.096 millones para el LRT. Por tanto, considerando las distintas vidas útiles, las reposiciones y los valores residuales, el costo total actualizado del LRT es el doble del correspondiente al BRT, mostrando una diferencia en torno a USD 1.000 millones en valor presente.

¹⁵ Tasa de descuento utilizada por el país para realizar la evaluación económica de un proyecto por parte del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

Gráfico 8. Costo Total de Propiedad por componente (Millones de USD)

Elaboración propia en base al informe REDES. (2026) Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas

6.2.4. Costos y beneficios

Una decisión económica entre alternativas no puede basarse exclusivamente en cuál de ellas presenta el menor costo. Una tecnología de mayor costo podría resultar justificable si generara también beneficios adicionales suficientemente importantes.

Las alternativas BRT y LRT no son idénticas y presentan ventajas y limitaciones propias, desarrolladas extensamente en el informe comparativo. El BRT utiliza vehículos de menor capacidad individual, lo que permite operar con mayores frecuencias y aporta mayor flexibilidad para adaptar servicios y cobertura. En las configuraciones analizadas presenta además menores requerimientos energéticos y, en consecuencia, menores emisiones asociadas a la operación. El LRT, por su parte, presenta ventajas asociadas al sistema ferroviario, entre ellas una mayor calidad percibida y determinados atributos positivos vinculados a su percepción urbana.

Sin embargo, a efectos de la comparación realizada, ambas alternativas fueron dimensionadas para satisfacer la misma demanda prevista y para alcanzar los objetivos centrales buscados por el proyecto: incrementar sustancialmente la capacidad y calidad del transporte público, reducir tiempos de viaje respecto de la situación actual, aumentar la frecuencia, regularidad y confiabilidad del servicio y disponer de capacidad suficiente para absorber crecimientos razonables de la demanda.

En consecuencia, los principales beneficios asociados a los atributos centrales del servicio serían de magnitud similar en ambas alternativas. En particular, los asociados a reducción de tiempos de viaje, frecuencia, regularidad, confiabilidad, capacidad y accesibilidad se generarían bajo ambos modos, dado que fueron diseñados para satisfacer la misma demanda y brindar niveles de servicio comparables. Esto no supone que todos los beneficios o prestaciones sean idénticos: existen ventajas específicas de cada tecnología, pero el análisis no identifica diferencias en los beneficios centrales de una magnitud comparable con la diferencia de costos observada.

Desde esta perspectiva, la comparación económica puede plantearse en términos incrementales. Optar por el LRT en lugar del BRT implicaría asumir un costo adicional superior a USD 1.000 millones en valor presente. Para que esa decisión resulte económicamente preferible, las ventajas adicionales del LRT deberían generar beneficios sociales incrementales de tal magnitud como para compensar ese mayor costo.

6.2.5 Conclusión de la comparación económica

La alternativa BRT presenta una ventaja económica significativa respecto del LRT en todas las dimensiones de costos analizadas.

La inversión inicial del LRT casi triplica la inversión inicial requerida para el BRT. La diferencia tampoco se revierte durante la operación: los costos anuales de operación y mantenimiento del LRT son aproximadamente 58% superiores. Finalmente, cuando se incorporan las diferentes vidas útiles, las reposiciones y los valores residuales durante un horizonte de 30 años, el costo total actualizado del LRT continúa siendo aproximadamente dos veces el correspondiente al BRT.

Esta diferencia resulta particularmente relevante porque los principales beneficios buscados por el proyecto serían de magnitud similar bajo ambas alternativas, por lo que no se evidencian ventajas específicas del LRT que permitan justificar un costo adicional superior a USD 1.000 millones en valor presente.

La diferencia representa además un costo de oportunidad de magnitud excepcional para la política pública. Recursos de esa magnitud podrían permitir, dentro del propio sistema de movilidad, extender la transformación a nuevos corredores, renovar flota o desarrollar infraestructura complementaria, o alternatively contribuir al financiamiento de otras prioridades públicas como educación, vivienda, etc. Por ello, el sobre costo de la alternativa ferroviaria no representa solamente una diferencia entre tecnologías, sino también un costo de oportunidad relevante en términos de otras inversiones que podrían realizarse con esos recursos.

En consecuencia, desde la perspectiva económica, el BRT presenta una relación sustancialmente más favorable entre los recursos requeridos y los beneficios esperados. Permite alcanzar los objetivos de la transformación con un costo total actualizado de la mitad del correspondiente al LRT. Considerando además la magnitud del costo de oportunidad asociado a esa diferencia, la evidencia disponible constituye un fundamento económico sólido para la elección del BRT.

6.3.Comparación en atracción de nuevos pasajeros.

Una eventual ventaja del LRT podría surgir si su mayor confort de marcha o calidad percibida entre los usuarios generara una captación de pasajeros sensiblemente superior a la del BRT. Esta dimensión es especialmente difícil de estimar ex ante, ya que depende de respuestas comportamentales frente a un sistema que todavía no existe. También las estimaciones de costos están sujetas a incertidumbre, pero se apoyan en diseños, cantidades y referencias de precios que permiten aproximarse con mayor precisión. Sobre este componente, aunque difícil de estimar, vale la pena profundizar en él ya que es uno de los principales motivos (el otro es la propia mejora del servicio para los actuales pasajeros) por los cuales realizar un proyecto de estas características

6.3.1 Los atributos que los pasajeros demandan para usar transporte público.

Los atributos principales que los pasajeros demandan para optar por el transporte público son tres: frecuencia, tiempo de viaje y previsibilidad.

Como ya fue expresado en apartados anteriores, estos atributos esencialmente no dependen del modo escogido, BRT o LRT, sino de las condiciones de diseño del propio proyecto. Sin embargo, existen algunas características propias del modo que pueden favorecer a uno u otro según sea el caso:

- **Comodidad en el andar.** La comodidad en el andar favorece al LRT puesto que al circular siempre sobre una vía férrea, las condiciones de comodidad y estabilidad son superiores a las que puede ofrecer un vehículo con ruedas, que transmite en mayor medida al pasajero las imperfecciones en el pavimento. Esta diferencia puede ser mitigada cuando los proyectos de BRT incluyen, como es el caso, la renovación completa de la carpeta de rodadura.
- **Flexibilidad para circular.** La flexibilidad para circular resulta en un factor importante puesto que parte de la confiabilidad del servicio pasa por mantener una operación continua bajo diferentes circunstancias. En este caso, la ventaja es para el BRT puesto que, si bien se trata de unidades de gran porte, las mismas tienen un margen de maniobra para circular por rutas alternativas ante imprevistos que afecten la normal circulación. Estos imprevistos pueden incluir accidentes de tránsito, reparaciones de servicios públicos, manifestaciones, etc. En el caso del LRT, determinadas contingencias sobre la vía pueden requerir interrupciones parciales o temporales del servicio. Dada la función troncal de estos corredores, la continuidad operativa constituye un atributo especialmente relevante.
- **Tamaño de los vehículos e impacto en la frecuencia.** Los LRT presentan la posibilidad de vehículos de mayor tamaño, lo cual puede llevar a un intervalo de paso algo más abierto, que permite gestionar de una forma más cómoda la prioridad semafórica y minimiza la posibilidad de acumulación de unidades en las estaciones, con su afectación negativa sobre la regularidad de la frecuencia. Por otro lado, el hecho de tener vehículos

con mayor tamaño, puede impactar negativamente la frecuencia de paso, incrementando el tiempo de espera de los pasajeros en parada.

6.3.2 La percepción subjetiva.

No existe consenso acerca de si el tranvía presenta, por sí mismo, un mayor potencial de captación de pasajeros que un sistema BRT o si esa diferencia depende principalmente de las características concretas de diseño, calidad e integración de cada sistema.

Por un lado, hay evidencia bastante sólida de que existe un componente de preferencia intrínseca por el riel, independiente del diseño del servicio. El trabajo de referencia es el de Scherer y Dziekan¹⁶, que hizo estudios de preferencia declarada en Alemania y Suiza presentando a los encuestados escenarios hipotéticos con condiciones de servicio idénticas (mismo tiempo de viaje, misma frecuencia, mismo precio), variando solo si el vehículo era bus o tranvía/tren.

El resultado: 75% de preferencia por el tranvía frente al bus en esas condiciones controladas, y los propios autores estiman que entre el 20% y el 50% de esa preferencia se explica por factores emocionales y sociales (sensaciones positivas, hábito, percepción de estatus), no por atributos objetivos del viaje. Es decir: incluso igualando el diseño en el papel, queda un residuo de preferencia por el modo en sí.

Otra línea de análisis, representada por autores como Jarrett Walker, sostiene que una parte relevante de la brecha observada responde a diferencias históricas de inversión y diseño entre modos: las ciudades invierten históricamente menos en autobuses, y esa subinversión hace que los sistemas de bus efectivamente ofrezcan peor servicio. Esa diferencia de calidad real (no la tecnología) es la que termina explicando gran parte de la preferencia observada.

La evidencia empírica de campo respalda ambos argumentos a la vez. La experiencia francesa que tiene varios corredores comparables porque construyeron tranvía y BHNS (su versión de BRT) en ciudades de tamaño similar, muestra que partiendo de una misma demanda base, el tranvía genera ganancias de pasajeros mayores que el BHNS. Ahí hay un componente de calidad real de marcha (aceleración, frenado y giro más suaves en riel) y de imagen de marca urbana, pero también hay un problema serio de causalidad: el estudio de Gagnière¹⁷ sobre 14 aglomeraciones francesas advierte que buena parte del salto observado de pasajeros coincide con rediseños completos de la red de transporte, que incluyen trasbordos forzados que se cuentan como "viajes nuevos", y que suelen empaquetarse junto con el proyecto de tranvía puesto que los tranvías, al ser obras de gran escala, casi siempre vienen acompañados de una renovación urbana y de red que un BRT rara vez recibe con la misma intensidad.

La literatura relevada sugiere la existencia de una preferencia modal residual a favor del tranvía, aunque la magnitud de esa diferencia está fuertemente condicionada por decisiones de diseño e inversión (cuánto se invierte en la estación, en imagen urbana, en la prioridad real), más que por el modo en sí mismo. En dicho escenario, un BRT con inversión, imagen de marca

¹⁶ Scherer y Dziekan: "Bus or Rail: An Approach to Explain the Psychological Rail Factor". Journal of Public Transportation, Vol. 15, No. 1. 2012.

¹⁷ Vicente Gagnière: "Les effets du tramway sur la fréquentation du transport public. Un bilan des agglomérations françaises de province. Revue Géographique de l'Est, vol. 52, No 1

e integración urbana equivalentes a las de un tranvía típico cerraría buena parte de esa diferencia.

De cualquier manera, ambos estudios citados datan de hace más una década, y lo que ha ocurrido en este tiempo es que la propia industria de ómnibus ha desarrollado vehículos que emulan en cuanto a su estética e imagen de renovación y modernidad, a los tranvías de última generación. Esta tendencia comenzó por varios de los principales constructores europeos de buses como Irizar, Hess, Van Hool (anexado a Hess en 2024), Solaris, Volvo, etc. e incluye actualmente a los principales constructores chinos, como ser Yutong, ByD, Higer, Sunwin, etc.

Ilustración 10 | Buses eléctricos de varias ciudades



En orden, de izquierda a derecha y de arriba abajo: 1) Línea T Zen 4 en París, Francia. Inaugurada en 2026. 2) Línea M1, en Brisbane, Australia. Inaugurada en 2025. 3) Línea L2, Vitoria-Gasteiz, España. Inaugurada en 2022. 4) Línea 3 Trondheim, Noruega. Inaugurada en 2019.

6.3.3. Conclusión de la comparación sobre atracción de pasajeros.

El potencial de captación de nuevos pasajeros por parte de las alternativas analizadas depende de aspectos de diseño, operación y apreciación subjetiva. Sobre los aspectos de diseño y operación, ambos pueden diseñarse con criterios comunes y ofrecer un nivel de servicio similar.

El tranvía puede presentar la ventaja de una mayor suavidad en el andar, mayor estabilidad y al tener la capacidad de transportar más pasajeros por unidad, un intervalo de paso un poco más holgado que permita manejar la prioridad semafórica más cómodamente, aunque también es cierto que esto puede impactar negativamente en la frecuencia, presentando intervalos de paso más espaciados y un mayor tiempo de espera en parada.

Por su parte, el BRT puede tener la ventaja de tener una mayor flexibilidad para permitir una operación continua y con menos interrupciones, al operar vehículos de menor capacidad de pasajeros que un tranvía, también tendría una mayor exigencia para priorizar su circulación, a

la vez que mantendrá un servicio con una mayor frecuencia y menor intervalo de paso que el tranvía.

Sobre la percepción subjetiva de la calidad del servicio, en principio el LRT toma ventaja puesto que los pasajeros vinculan este servicio a una mayor calidad y modernidad asociando al modo ferroviario atributos de calidad y modernidad que, en parte, dependen del diseño y de las condiciones de operación del servicio, que pueden ser comunes a ambas modalidades. Sin embargo, los nuevos modelos de buses de gran porte han incorporado estándares de diseño, confort y experiencia de usuario comparables a los de vehículos ferroviarios modernos.

En conclusión, desde la perspectiva del potencial de captación de pasajeros no surge una ventaja inequívoca de una alternativa sobre la otra. Existe una percepción subjetiva sobre la calidad del servicio más favorable al modo ferroviario. Sin embargo, los diseños y prestaciones de los nuevos buses de gran porte han contribuido a reducir esa brecha.

El BRT presenta, por su parte, ventajas asociadas a una mayor frecuencia y, especialmente, a su mayor flexibilidad operativa. Esta última adquiere particular relevancia en una red troncal, donde accidentes, obras, manifestaciones u otras contingencias pueden interrumpir la circulación. Mientras que un BRT conserva la posibilidad de realizar desvíos y mantener el servicio, una interrupción de la vía ferroviaria puede obligar a interrumpir el servicio del LRT en el tramo afectado. La frecuencia y continuidad del servicio inciden directamente sobre la regularidad, la previsibilidad y los tiempos de viaje, por lo que interrupciones frecuentes o prolongadas podrían reducir, e incluso revertir, la ventaja inicial de captación asociada a la mejor percepción del modo ferroviario.

7. Conclusiones finales y recomendaciones

El AM enfrenta una decisión estratégica para mejorar de manera sustantiva la calidad de su sistema de transporte, y esto pasa necesariamente por desarrollar una red estructurante de alcance metropolitano en sus principales corredores, que incorpore una nueva modalidad en la prestación del servicio que se caracterice por poder ofrecer una mejora significativa en los atributos de frecuencia, tiempo de viaje y previsibilidad.

La evidencia técnica reunida y presentada en este informe señala al BRT como la alternativa tecnológica más costo eficiente para los corredores troncales del sistema de transporte público del AM, en las condiciones actuales y previstas de demanda y de disponibilidad de recursos públicos.

Esta conclusión se sostiene en cuatro pilares:

- a) **Desempeño operacional.** La velocidad y la previsibilidad de un sistema de transporte público dependen del diseño operativo y de la infraestructura, no de si el vehículo circula sobre neumáticos o sobre rieles. El BRT, correctamente diseñado (con carril exclusivo y priorización en las intersecciones, prevalidación de boleto y embarque por múltiples puertas), puede alcanzar niveles de desempeño equiparables a los de un sistema ferroviario.
- b) **Capacidad.** Los niveles de demanda actuales y previstos para los corredores troncales del AM se encuentran ampliamente dentro de la capacidad de ambas alternativas. La mayor capacidad unitaria del LRT no constituye, por tanto, una ventaja decisiva para la elección modal en este caso
- c) **Desempeño energético y ambiental.** El BRT eléctrico, en las condiciones evaluadas para el AM, presenta además el mejor desempeño ambiental de las alternativas analizadas, con el menor consumo energético y las menores emisiones de dióxido de carbono.
- d) **Costos.** El BRT presenta requerimientos sustancialmente menores de inversión y operación. El LRT requiere una inversión inicial cercana a 2,7 veces la del BRT y costos anuales de operación y mantenimiento aproximadamente 58% superiores; aun considerando las diferentes vidas útiles y reposiciones, su Costo Total de Propiedad resulta aproximadamente el doble.

La dimensión económica adquiere un carácter particularmente determinante porque las diferencias de costo no están asociadas, en las condiciones del AM, a diferencias equivalentes en capacidad o en los principales atributos de desempeño.

En conjunto, ambas tecnologías pueden alcanzar prestaciones centrales comparables y cuentan con capacidad suficiente para atender la demanda prevista. Sin embargo, el BRT presenta ventajas energéticas y un costo total sustancialmente menor. La evidencia disponible no

identifica en la captación de pasajeros una diferencia clara como para alterar las conclusiones anteriores.

A su vez, uno de los argumentos más relevantes a favor de la elección del BRT trasciende la propia comparación costo-beneficio de un corredor individual: se trata de su capacidad de habilitar, con un mismo nivel de inversión pública, una red troncal completa de corredores de alta calidad, en lugar de limitarse a una o dos líneas aisladas.

Como se desarrolló en el apartado 7.2, la inversión estimada para las dos líneas analizadas es de USD 575 millones para BRT, frente a USD 1.544 millones para LRT. Esta diferencia puede reformularse de este modo en términos de los objetivos relevantes para la política pública: con el mismo presupuesto que permitiría construir una red de tren ligero de extensión limitada (dos corredores), es posible financiar una red de BRT sustancialmente más extensa, capaz de cubrir un número mayor de corredores troncales de alta frecuencia, y dar de ese modo cobertura a mayor cantidad de población.

Ninguna área metropolitana de una escala poblacional comparable a la del AM, que sea reconocida por la calidad de su sistema de transporte, basa su sistema de transporte público en una única tecnología aislada; lo que se observa, en cambio, son redes estructuradas en capas, con servicios de distinta velocidad y capacidad combinados entre sí. Alcanzar esa estructura de red requiere, necesariamente, que la tecnología elegida para el nivel troncal sea financieramente escalable a múltiples corredores.

Esta diferencia de escala es la condición que determina si la transformación del sistema de transporte público metropolitano puede generalizarse y alcanzar el carácter de una verdadera “red estructurante”, con jerarquía de servicios, corredores troncales interconectados y cobertura significativa del territorio metropolitano, o si, en cambio, queda limitada a un enclave de una o dos líneas de alta calidad rodeadas de un sistema convencional sin transformar.

Puesto que el objetivo de la transformación no es generar dos líneas, sino una red completa de múltiples líneas, las condiciones de viabilidad económica resultan en el factor clave que permitirá no solo tener una red troncal parcial de 50 km, como son los proyectos previstos para la primera etapa, sino una red completa de 200 km, con varios corredores radiales y transversales.

Figura 4: Red Troncal a largo plazo AM

La ventaja de costo del BRT no debe leerse entonces únicamente como ahorro fiscal, sino como la condición habilitante para que la transformación del transporte público metropolitano alcance la escala de una red completa, y no la de una intervención puntual.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

Estudios e informes técnicos

CINVE. (2023). *Determinantes de la demanda de servicios de transporte público en Montevideo.*

CINVE. (2023). *La transformación del Sistema de Transporte Público en el Área Metropolitana de Montevideo.*

Ambos documentos ya aparecen citados expresamente en el diagnóstico..

REDES. (2026) Consultoría para la realización de estudios de simulación de transporte público y saturación de paradas

Sistema de Transporte Metropolitano (STM). Información operativa utilizada para cálculos propios correspondientes a 2024.

Literatura académica y técnica

Scherer, M. y Dziekan, K. (2012). “Bus or Rail: An Approach to Explain the Psychological Rail Factor”. *Journal of Public Transportation*, Vol. 15, N.º 1.

Gagnière, V. “Les effets du tramway sur la fréquentation du transport public. Un bilan des agglomérations françaises de province”. *Revue Géographique de l'Est*, Vol. 52, N.º 1.

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP). *The BRT Planning Guide. Performance.*

Fuentes institucionales y documentación en línea

Toronto Transit Commission (TTC). Información e imágenes del sistema de tranvías de Toronto. <https://www.ttc.ca/>

TRAM d'Alacant. Información e imágenes del sistema de Alicante. <https://tramalicante.info/>

Metro de Medellín. Información institucional sobre el Tranvía de Ayacucho y su operación. <https://www.metrodemedellin.gov.co/>

Metrovalencia. Información e imágenes del sistema tranviario de Valencia. <https://www.metrovalencia.es/>

Urban Transport Magazine. Información sobre el e-Busway de Nantes.

<https://www.urban-transport-magazine.com/en/nantes-launches-e-busway-with-bi-articulated-buses/>

Brisbane Metro. Información institucional sobre flota e infraestructura.

<https://metro.brisbane.qld.gov.au/metro-fleet>

Municipio de Quito / Pasajeros Quito. Información sobre el sistema de Trolebús.

<https://pasajeros.quito.gob.ec/>

Milenio. Información de referencia sobre la Línea 4 del Metrobús de Ciudad de México.

<https://www.milenio.com/politica/comunidad/metrobus-cdmx-ampliacion-linea-4-85-avance-sheinbaum>

TomTom. *Traffic Index: Montevideo.*

<https://www.tomtom.com/traffic-index/city/montevideo/>