



TRANSICIÓN HACIA OPERACIONES DE AUTOBUSES CON CERO EMISIONES

Consideraciones para un tránsito ecológico



U.S. Department of Transportation, Office of the Secretary
www.transportation.gov/Momentum

NORTH AMERICAN PARTNERSHIP

The MOMENTUM “Transitioning to Zero-Emission Bus Operations: Considerations for Greening Transit” toolkit is a joint effort by the Governments of Canada, Mexico, and the United States. It furthers the aspirations of these countries’ leaders at the 9th North American Leaders Summit (NALS) to “accelerate the transition to sustainable transportation, including more rapid deployment of electric vehicles,” and fulfills the commitment made at the 10th NALS to “share information between our countries on best practices to electrify and decarbonize public buses through the cooperative development of a Joint Transit Decarbonization Toolkit.”

This toolkit is a resource designed to help states/provinces, cities, and public transportation agencies both in North America and globally advance their efforts towards adding zero emission buses into their fleets. It shares practical experiences, lessons learned, and case studies that are relevant to transit operators at all stages of the transition to zero emission buses.

La boîte à outils « Transition vers des autobus à zéro émission : Considérations sur l’écologisation des transports en commun » de MOMENTUM est un effort conjoint des gouvernements du Canada, du Mexique et des États-Unis. Il promeut les aspirations des dirigeants de ces pays lors du 9e Sommet des leaders nord-américains (SLNA) d’ « accélérer la transition vers des transports durables, y compris le déploiement plus rapide des véhicules électriques, » et répond à l’engagement pris lors du 10e SLNA de « partager, entre nos pays, l’information sur les meilleures pratiques pour électrifier et décarboner les autobus publics à travers le développement coopératif d’une boîte à outils commune pour la décarbonisation des transports en commun. »

Cette boîte à outils est une ressource conçue pour aider les états/provinces, les villes et les agences de transport public en Amérique du Nord et dans le monde à faire progresser leurs efforts visant à ajouter des autobus à zéro émission dans leur parc d’autobus. Elle partage des expériences pratiques, des leçons apprises et des études de cas pertinentes aux opérateurs de transport en commun à toutes les étapes de la transition vers des autobus à zéro émission.

El kit de herramientas MOMENTUM "Transición hacia Operaciones de Autobuses de Cero Emisiones: Consideraciones para la Sostenibilidad en el Transporte Público" es un esfuerzo conjunto de los Gobiernos de Canadá, México y Estados Unidos. Este kit promueve las aspiraciones de los líderes de estos países en la 9ª Cumbre de Líderes de América del Norte (CLAN) de "acelerar la transición hacia el transporte sostenible, incluida una implementación más rápida de vehículos eléctricos", y cumple con el compromiso hecho en la 10ª CLAN de "compartir información entre nuestros países sobre las mejores prácticas para electrificar los autobuses del autotransporte mediante el desarrollo cooperativo de un Kit de Herramientas Conjunto para la Descarbonización del Transporte Público".

Este kit de herramientas es un recurso diseñado para ayudar a estados/provincias, ciudades y agencias de transporte público, tanto en América del Norte como a nivel global, a avanzar en sus esfuerzos para incorporar autobuses de cero emisiones en sus flotas. Comparte experiencias prácticas, lecciones aprendidas y estudios de caso relevantes para los operadores de transporte público en todas las etapas de la transición hacia autobuses de cero emisiones.

Canada



MOMENTUM

CONTENIDO

NALS Prologo.....	Error! Bookmark not defined.
Prologo.....	4
¿CÓMO PUEDEN LAS AGENCIAS FOMENTAR LA TRANSICIÓN DE LAS OPERACIONES DE AUTOBUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO A VEHÍCULOS DE CERO EMISIONES?.....	5
¿CUÁLES SON LOS DIFERENTES TIPOS DE TECNOLOGÍA QUE UTILIZAN LOS AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	7
¿QUÉ TIPOS DE AUTOBUSES PUEDEN UTILIZAR TECNOLOGÍAS DE CERO EMISIONES?16	
¿QUÉ DEBEN CONSIDERAR LAS AGENCIAS DE TRANSPORTE ANTES DE SU TRANSFORMACIÓN A AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	18
¿CÓMO PUEDEN LAS AGENCIAS ASEGURAR QUE LOS BENEFICIOS DE LA TRANSICIÓN A AUTOBUSES DE CERO EMISIONES SE DISTRIBUYAN DE MANERA EQUITATIVA?.....	24
¿QUÉ BENEFICIOS APORTA LA TRANSICIÓN A LA OPERACIÓN CON AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	26
¿CUÁLES SON LAS NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA DE LOS AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	31
¿CÓMO PUEDEN LAS AGENCIAS DE TRANSPORTE DETERMINAR LA MEJOR OPCIÓN DE AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	37
¿CÓMO DEBEN LAS AGENCIAS DE TRANSPORTE INVOLUCRAR A LAS PARTES INTERESADAS EN LA TRANSICIÓN A FLOTAS DE AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?....	39
¿CÓMO PUEDES OBTENER LAS MAYORES VENTAJAS DE TU NUEVA FLOTA DE AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	42
¿ES SU SISTEMA DE TRANSPORTE APTO PARA AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?.....	44
GLOSARIO.....	45
PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN.....	48

PROLOGO

La tecnología de autobuses de cero emisiones está surgiendo como una opción viable para las agencias de transporte público que buscan reducir los gases de efecto invernadero (GEI) de su flota. Sin embargo, existen desafíos en la adopción de esta tecnología en aspectos como la instalación de la infraestructura necesaria o la identificación de consideraciones operativas específicas relacionadas con la implementación y planificación interdisciplinarias. El propósito de este conjunto de herramientas es ayudar a las agencias y organizaciones que trabajan asuntos relacionados con el transporte público a comprender los posibles beneficios de los autobuses de cero emisiones, así como informar sobre las fases iniciales de las decisiones que se han tomado con respecto a la adquisición de estos autobuses. Este documento contiene información sobre la tecnología que existe hasta el momento sobre los autobuses de cero emisiones, un cuestionario de planificación de transporte público y estudios de caso que muestran algunos ejemplos del tema.

¿CÓMO PUEDEN LAS AGENCIAS FOMENTAR LA TRANSICIÓN DE LAS OPERACIONES DE AUTOBUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO A VEHÍCULOS DE CERO EMISIONES?

Con el fin de prevenir los peores impactos del cambio climático, el mundo debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Dado que el transporte representa aproximadamente una cuarta parte de las emisiones mundiales, la transición de las operaciones de autobuses de transporte público hacia opciones de cero emisiones representa una oportunidad para las naciones de alcanzar sus objetivos en la reducción de emisiones, mejorar el rendimiento de la flota de transporte y reducir los costos operativos, así como disminuir la contaminación local provocada por los vehículos de transporte terrestre, y brindar una experiencia de viaje más confortable y silenciosa para los pasajeros, al mismo tiempo que se reduce el ruido en las comunidades donde operan.

A partir de 2021, en el marco del Consejo Internacional de Transporte Limpio, siete países, el estado de California y la provincia de Quebec se comprometieron a convertir el total de su flota de autobuses públicos en vehículos de cero emisiones. Del mismo modo, otros países (por ejemplo, Pakistán) han adoptado una política nacional de vehículos eléctricos para dar a conocer las regulaciones para la adquisición de estos vehículos a lo largo del país.¹ En agosto de 2021, Canadá anunció el Fondo de Tránsito de Cero Emisiones ([Zero Emission Transit Fund](#)) con una inversión de 2,75 mil millones de dólares para respaldar la compra de 5,000 autobuses de cero emisiones durante un período de cinco años.²

Los gobiernos y las agencias de transporte actualmente cuentan con diversas opciones para integrar autobuses de

Gobiernos con objetivos oficiales de gradualmente eliminar las ventas de autobuses con motor de combustión interna para una fecha determinada:



Países Bajos

2025 Nuevos autobuses 100% cero emisiones
2030 Flota de autobuses 100% cero emisiones



Dinamarca

2025 Nuevos autobuses 100% cero emisiones
2030 Flota de autobuses cero emisiones



Austria

2032 Nuevos autobuses 100% cero emisiones



Cabo Verde

2035 Nuevos Autobuses 100% eléctricos
2050 Flota de Autobuses 100% eléctrica



Nueva Zelanda

2025 Nuevos autobuses 100% cero emisiones
2035 Flota de autobuses 100% cero emisiones



Costa Rica

2050 Flota de autobuses 100% cero emisiones



Colombia

2035 Nuevos autobuses 100% eléctricos o cero emisiones



Chile

2035 Nuevos autobuses 100% cero emisiones

Memorándum de Entendimiento Global

Austria, Canadá, Chile, Finlandia, Luxemburgo, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Escocia, Suiza, Turquía, Reino Unido, Uruguay, Gales

2030 Nuevos vehículos medianos y pesados 30% cero emisiones

2040 Nuevos vehículos medianos y pesados 100% cero emisiones

Fuente: Consejo Internacional de Transporte Limpio

¹ [Pakistan's National Electric Vehicle Policy: Charging Towards the Future](#), The International Council on Clean Transportation

² [Pakistan's National Electric Vehicle Policy: Charging Towards the Future](#), The International Council on Clean Transportation

cero emisiones en sus flotas de transporte público. Anteriormente, los vehículos alimentados mediante batería carecían de la potencia, alcance y eficiencia necesarios para competir con los vehículos impulsados por combustibles fósiles o requerían de una extensa inversión en infraestructura, como es el caso de algunas redes de trolebuses. Actualmente, los avances tecnológicos al respecto han permitido que los autobuses de cero emisiones cuenten con una mayor competitividad en el mercado, pues se han incrementado sus beneficios con relación precio-ciclo de vida, comparados con los autobuses impulsados por combustibles fósiles, y han establecido mejoras en el rendimiento para poder realizar viajes más largos. Se estima que, a lo largo de una vida útil de 12 años, cada autobús de cero emisiones puede eliminar hasta 1,690 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera.³

³ [Benefits of Zero-Emission Buses](#), U.S. Department of Transportation, Race to Zero Emissions

¿CUÁLES SON LOS DIFERENTES TIPOS DE TECNOLOGÍA QUE UTILIZAN LOS AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

A partir de mayo de 2023, la tecnología disponible para los autobuses de cero emisiones ha incluido sistemas que utilizan celdas de combustible de hidrógeno y alimentación eléctrica por cable y batería. Para determinar la mejor fuente de energía que se requiere para una flota de autobuses de transporte público de cero emisiones, sería necesario que las agencias de transporte analicen las diferentes opciones disponibles y viables en su área de servicio. Asimismo, se requiere estrechar la colaboración entre las agencias de planificación local, el personal de mantenimiento y operaciones, las empresas de servicios públicos locales, los proveedores de combustibles alternativos, los fabricantes de vehículos y las organizaciones comunitarias con el fin de identificar la tecnología más apropiada para implementar flotas de autobuses de cero emisiones.



Fuente: King County, WA

Estudio de caso: Flotas de autobuses eléctricos en la Ciudad de México

En 2021, la Ciudad de México presentó un plan para realizar avances significativos en la transición de las flotas de autobuses de transporte público a vehículos eléctricos. La Ciudad de México, que cuenta con 21 millones de habitantes, actualmente opera servicios de autobús, trolebús, tren suburbano y tranvía. La Ciudad de México adquirió diez autobuses articulados de 18 metros, con un alcance de 330 km para las rutas de autobús de tránsito rápido y varios nuevos autobuses eléctricos para el sistema de Metrobús. Dichos vehículos contarán con el apoyo de siete estaciones de carga. Asimismo, se espera que los autobuses de cero emisiones vean una reducción de hasta el 30 por ciento en los costos operativos en comparación con sus modelos existentes alimentados con diésel.



Fuente: [Mexico News](#)

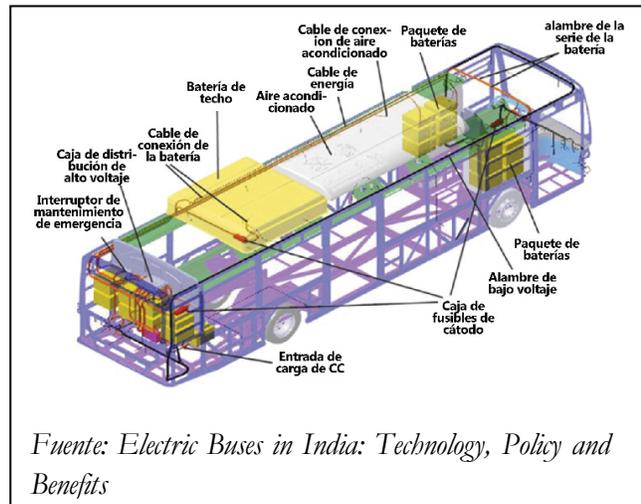
Fuente: [Electrifying Bus Routes: Insights from Mexico City's EJE 8 Sur Technology Assessment, Mexico Welcomes First-of-its-Kind Electric Buses](#)

Autobuses Eléctricos

Los autobuses impulsados mediante batería eléctrica utilizan un sistema de propulsión y un sistema auxiliar que ofrecen un viaje más terso y silencioso que los autobuses que funcionan con

combustibles fósiles. Actualmente, los autobuses eléctricos están disponibles en una variedad de tamaños de vehículos, resistencia de baterías y tipos de carga. Los tipos de carga disponibles incluyen carga aérea en ruta y carga con pantógrafo en ruta. Aunque la mayoría de los despliegues de autobuses de cero emisiones utilizan principalmente la carga con enchufe en el depósito. La carga con pantógrafo se refiere a la carga del autobús en los depósitos o en ruta a través de un pantógrafo montado e invertido.

La carga es una parte clave para poseer y operar una flota de autobuses de batería eléctrica, ya que se necesita una infraestructura de carga adecuada para satisfacer las necesidades del servicio. Los horarios de servicio pueden variar ampliamente en un sistema de transporte, como la longitud de la ruta de tránsito, el tipo de ruta (por ejemplo, expreso, rápido, local, de cercanías) y las condiciones de la ruta (por ejemplo, velocidad, altura del bordillo, apertura de puertas, patrones de tráfico, pendiente, tipo de superficie). Evaluar los diferentes tipos de baterías, tipos de carga y estrategias de carga factibles puede ayudar a las agencias a seleccionar tipo de vehículo eléctrico más adecuado para su aplicación particular.



Las baterías de litio son la tecnología más común para alimentar vehículos eléctricos. Este tipo de baterías pueden ser un material peligroso, por lo que requieren de almacenamiento y monitoreo adecuados para mantener la seguridad contra incendios para el personal. Los autobuses eléctricos de batería estándar que utilizan baterías de litio, típicamente tienen una capacidad de 250-600 kWh, lo que se traduce en un rango de 160-320 km. También están apareciendo en el mercado modelos con una mayor capacidad de batería a bordo y mayor autonomía. Muchos de los modelos actuales de autobuses de batería eléctrica de 12,2 metros, también conocidos como modelos de autobuses de 40 pies, pueden cargarse completamente en menos de cinco horas con una carga enchufable.

Estudio de caso: Autobuses totalmente eléctricos de la Autoridad de Tránsito del Valle de Antelope



Fuente: [AVTA](#)

La Autoridad de Tránsito del Valle de Antelope (AVTA) en el sur de California presta servicio a 450,000 residentes en un área de servicio de 1,200 millas cuadradas. Recientemente, AVTA estableció la primera agencia de tránsito de autobuses totalmente eléctricos en los Estados Unidos. Esta agencia de transporte público estableció una serie de planes que pretendían reemplazar los autobuses de diésel que estaban en operación, por una flota de autobuses de cero emisiones, antes de que entrara en vigor la regulación de Transporte Limpio Innovador de California (CARB) en 2018. Dicha regulación instruye a las agencias de tránsito público del estado para llevar a cabo una transición completa hacia flotas de autobuses de cero emisiones.

AVTA comenzó a introducir autobuses eléctricos en su flota desde 2017 y retiró su último autobús diésel en 2020. La flota de AVTA actualmente está conformada de 87 vehículos totalmente eléctricos, que incluyen tres tipos de vehículos diferentes: 57 autobuses, 10 furgonetas y 20 autobuses de transporte de pasajeros. Las baterías de los autobuses se cargan de dos maneras: en el depósito y a través de almohadillas de carga inalámbrica ubicadas en toda la red de autobuses. Al respecto, AVTA ha estimado un ahorro anual de casi \$500,000 usd, principalmente en costos de mantenimiento y operaciones, después de su transición de autobuses diésel a eléctricos.

Fuente: [AVTA Becomes the First All-Electric Zero-Emission Transit Agency in North America, 4 Lessons From a California Transit Authority's Bus Electrification Rollout](#)

En el caso de los vehículos impulsados por baterías, la carga más alta y eficiente que puede mantener una batería depende tanto del sistema de gestión de la batería como del tipo de alimentación de la misma. Los conductores deben estar familiarizados con la forma de observar la carga de la batería y evaluar su relación con la distancia restante para completar la ruta. Los propietarios y operadores de flotas también deberán tener en cuenta la disminución de la capacidad de la batería con el paso del tiempo. El final de la vida útil de una batería suele especificarse como la disminución de la capacidad inicial de la batería en un 20%. Las agencias tendrán que navegar por los límites máximos y mínimos para determinar la capacidad realista de la batería al principio, a la mitad y cerca del final de su vida útil. Las agencias deben discutir las disposiciones de garantía de las baterías con el fabricante, para asegurarse de que mantienen una capacidad óptima durante la vida útil prevista del vehículo o vehículos.

El comportamiento del conductor, la temperatura de funcionamiento, el almacenamiento del autobús bajo la luz solar o fuera de ella, y si la cabina está preacondicionada antes de salir del depósito pueden afectar a la duración de la batería y a la autonomía de un vehículo. Los comportamientos de conducción, como la aceleración y el frenado ineficientes, pueden agotar la batería a mayor velocidad. Los propietarios de flotas tendrán que incorporar formación de

conducción para ayudar a los operadores a comprender la diferencia de estilos de conducción entre un vehículo con batería y motor eléctrico y otro con motor de combustión.

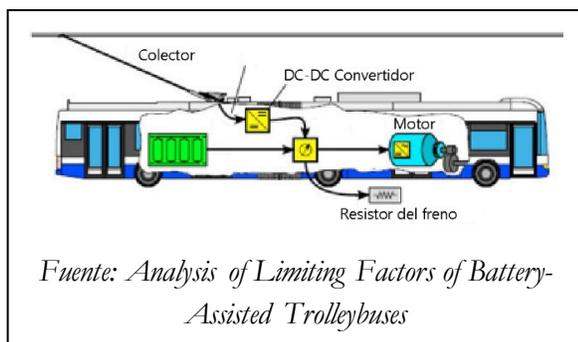
Desde el punto de vista del mantenimiento y las operaciones, es posible que los operadores tengan que acomodar los horarios de carga ajustando el número de autobuses que prestan servicio en una ruta, dividiendo las partes de las rutas programadas entre diferentes autobuses (es decir, bloqueando los autobuses) o ajustando los tiempos de parada. Sin embargo, el menor coste de la electricidad en comparación con el gasóleo ayudará a las agencias de transporte a generar ahorros de costes. Las empresas de transporte deben trabajar con las compañías eléctricas para garantizar que las tarifas de demanda y las tarifas por tiempo de uso estén diseñadas para reflejar las necesidades de los autobuses eléctricos con batería. Es probable que se produzcan ahorros de costes adicionales derivados del mantenimiento, ya que los autobuses eléctricos de batería tienen menos piezas que mantener.

Autobuses con Cableado Eléctrico

Los autobuses de cableado eléctrico, también conocidos como trolebuses, son autobuses eléctricos alimentados por cables aéreos que suministran energía directamente al vehículo. Si bien sus sistemas de alimentación son similares en apariencia y diseño a los tranvías, los autobuses de cableado eléctrico se cargan y operan en calles y vías fijas. Este tipo de autobuses también pueden usar una batería que se carga a través de los cables para funcionar en distancias cortas sin conexión al cableado. El tamaño de la batería en el autobús de cableado eléctrico determina la distancia que el vehículo pueda recorrer sin conexión antes de tener que volver a conectarse y recargarse. Los sistemas de autobuses de cableado eléctrico pueden tener grandes ventajas en áreas de servicio con terreno montañoso o rutas largas y frecuentes.



Fuente: TransLink



Fuente: Analysis of Limiting Factors of Battery-Assisted Trolleybuses

La flota de *TransLink* en Vancouver es el único sistema de autobuses de cableado eléctrico en Canadá y el más grande de América del Norte. Estos trolebuses han sido parte de la red de transporte de la ciudad durante más de 70 años. Por ejemplo, Vancouver tiene una red de trolebuses con 262

autobuses y 315 km de cableado bidireccional a lo largo de 13 rutas.⁴

La implementación de un sistema de autobuses de cableado o baterías eléctricas requiere que las flotas utilicen un sistema de cableado existente o se comprometan a construir cables y postes nuevos para alimentar los autobuses, así como sistemas de líneas aéreas determinarán en última instancia las rutas de los autobuses. Los ajustes significativos en las rutas requerirán realinear o expandir el sistema de cableado.

Se requiere que las flotas de transporte público trabajen en conjunto con los servicios públicos locales para asegurarse de que el sistema de cableado se alimente de fuentes de salida de energía adecuadas y, posiblemente, agregar subestaciones para complementar. Al construir un nuevo sistema de cableado para trolebuses de batería eléctrica, es posible que deban lidiar con los intereses de diversos sectores y miembros de la comunidad acerca de temas como la visibilidad y estética del sistema de cableado aéreo en los corredores principales. A su vez, los propietarios de las flotas deberán colaborar con el personal de mantenimiento y operaciones, junto con el servicio público local, para determinar cómo se abordarán los problemas de cableado considerando las necesidades de seguridad y las posibles interrupciones del servicio.

Estudio de caso: Red de Trolebuses en Polonia

Una de las desventajas históricas de la implementación de trolebuses es la limitación de que los autobuses solo puedan operar debajo del sistema de carga mediante cables. Para proporcionar mayor flexibilidad, en las últimas décadas, algunos trolebuses se han convertido en híbridos, por lo que se les integraron generadores de energía diésel para permitir que los autobuses viajen temporalmente fuera del cableado hacia áreas de servicio remotas. Las versiones más nuevas de los modelos de trolebuses cuentan con baterías a bordo para complementar el suministro de energía aéreo.

En septiembre de 2020, Gdynia, una ciudad del norte de Polonia, adquirió seis trolebuses con baterías a bordo para atender secciones de ruta sin líneas aéreas. El sistema construyó siete nuevas líneas de trolebuses entre 2004 y 2020, y ahora cuenta con 15 líneas completamente atendidas por trolebuses y una de forma parcial. En algunas secciones, ocho de las líneas de autobuses no tienen cables de catenaria aéreos, lo que requiere que las autoridades encargadas de la flota consideren cómo suministrar energía a los trolebuses a través de espacios eficientes y de bajas emisiones. Algunas de las líneas requieren que los trolebuses viajen hasta 10 km sin cables aéreos. Actualmente, estas brechas se complementan mediante energía de la batería, aunque anteriormente se utilizaban generadores diésel a bordo. Los costos iniciales y los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo pueden constituir barreras significativas para que los propietarios de flotas hagan la transición hacia autobuses de cero emisiones. La planificación de escenarios puede ayudar a las autoridades y a los propietarios de este tipo de transporte a determinar el tamaño mínimo de batería necesaria para poder satisfacer adecuadamente las necesidades del servicio y permitir flexibilidad para cambios o expansiones de ruta a largo plazo. Fuente: [Sustainable Use of the Catenary by Trolleybuses with Auxiliary Power Sources on the Example of Gdynia](#)

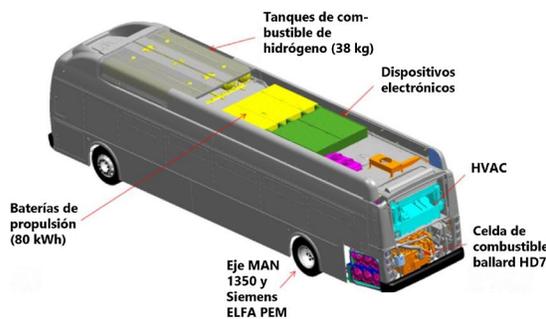
⁴ [15 Years of the Low Floor Trolleybus in Metro Vancouver](#), TransLink

Autobuses con celdas de combustible de hidrógeno

Los autobuses con celdas de combustible de hidrógeno utilizan hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y calor. Las diferencias entre las celdas de combustible y las baterías se observan al momento de convertir el combustible almacenado —como el hidrógeno líquido o gaseoso— en electricidad para alimentar un motor a bordo o emitir vapor de agua como subproducto del uso del hidrógeno como combustible del vehículo. Los autobuses con celdas de combustible de hidrógeno requieren una manguera y una boquilla conectadas a un tanque de almacenamiento de hidrógeno, al igual que algunos de los equipos actuales necesarios para repostar autobuses que funcionan con combustibles fósiles. Un autobús con celdas de combustible de hidrógeno está equipado con una célula de combustible, tanques de almacenamiento de hidrógeno y un motor eléctrico. Estos autobuses tienen mayor alcance que los autobuses eléctricos, por lo que podrían ser una mejor opción de vehículo de cero emisiones para servicios de transporte con rutas más largas.



Fuente: Hydrogen Fuel Cell Bus Council



Fuente: Green Car Congress

Los operadores de flotas que opten por adquirir autobuses con celdas de combustible de hidrógeno deberán considerar tanto la vida útil de la celda de combustible, como la forma de gestionar el suministro de hidrógeno. Al igual que en un autobús de batería eléctrica, la producción máxima de una célula de combustible puede degradarse con el tiempo. Las agencias deben celdas de combustible con el fabricante, para

asegurarse de que sigan siendo funcionales durante la vida útil planificada de los vehículos.

Por su parte, las agencias deberán evaluar las opciones de suministro en su ubicación en términos de las fuentes y el acceso al hidrógeno, así como los costos. Si una flota opta por producir hidrógeno en el lugar, debe calcular los costos de instalación de la infraestructura y de provisión de materia prima, como electricidad, agua o gas natural para alimentar la configuración de generación. Las agencias que opten por generar su propio hidrógeno pueden continuar promoviendo sus prioridades de cero emisiones produciendo hidrógeno utilizando fuentes de energía renovable, conocido como "hidrógeno verde". El "hidrógeno gris" es un término utilizado para referirse a la producción de hidrógeno alimentada por fuentes de energía de combustibles fósiles. La generación de hidrógeno en el lugar tiene la ventaja de proporcionar al operador un mayor control sobre las emisiones generadas en la producción de hidrógeno.

Estudio de caso: Hidrógeno Limpio en Aberdeen, Reino Unido

El Ayuntamiento de Aberdeen en Escocia es líder en el establecimiento de una infraestructura de transporte de hidrógeno. La ciudad cuenta con dos estaciones de carga de hidrógeno de acceso público para permitir que todo tipo de vehículos se recarguen. Aberdeen fue la primera ciudad en el mundo en adquirir autobuses de doble piso con celdas de combustible de hidrógeno, los cuales comenzaron a prestar servicio a principios de 2021 y ahora forman parte de una flota de 15 autobuses. La ciudad alberga la flota de vehículos con celdas de combustible más grande de Europa. Hasta 2021, la flota de la ciudad incluía 57 vehículos de hidrógeno: barredoras de calles, furgonetas, autobuses y camiones de residuos, con planes de proporcionar un suministro de combustible de carga, la ciudad también estableció la primera instalación de producción de Escocia. Las adquisiciones de vehículos de cero emisiones de la ciudad fueron financiadas, en parte, por las Iniciativas Conjuntas de la Unión Europea para Vehículos de Hidrógeno en Europa (JIVE, por sus siglas en inglés).



Fuente: [Aberdeen Hydrogen FAQ](#)
 cambios de ruta o requieren de una batería para funcionar sin cables.

Fuente: [H2 Aberdeen, Aberdeen City Region Hydrogen Strategy & Action Plan, The world's first hydrogen-powered double decker bus arrives in Aberdeen](#)

Ventajas y Desventajas de las Tecnologías de Autobuses de Emisión Cero

	Ventajas	Desventajas
Batería eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneración por configuración de energía disponibles. • Tecnología de frenado regenerativo para ampliar la autonomía del vehículo. • El costo total de propiedad tiene el potencial de ser menor que los autobuses diésel tradicionales debido a los bajos costos operativos asociados con el mantenimiento y el ahorro de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los costos iniciales son más caros que los autobuses diésel (hasta 2020) • La carga puede llevar mucho tiempo, dependiendo del método de carga • Tienen un rango limitado en una sola carga • Las temperaturas muy altas y bajas tienen un impacto negativo

		5
		
		

⁵ [Electrifying Transit: A Guidebook for Implementing Battery Electric Buses](#), 2021, Alana Aamodt, Karlynn Cory, and Kamyria Coney, National Renewable Energy Laboratory

Para mas información:

- [Foothill Transit Battery Electric Demonstration Results: Second Report](#), National Renewable Energy Laboratory
- [A Zero-Emission Transition for the U.S. Transit Fleet](#), Center for Transportation and the Environment
- [An Analysis of Transit Bus Axle Weight Issues](#), America Public Transportation Association
- [Public Transportation's Role in Responding to Climate Change](#), Federal Transit Administration

¿QUÉ TIPOS DE AUTOBUSES PUEDEN UTILIZAR TECNOLOGÍAS DE CERO EMISIONES?

Los autobuses de cero emisiones se pueden encontrar en varios tamaños, formas y capacidades. El tipo físico del autobús será un factor de gran relevancia en la cantidad de energía necesaria para operar el vehículo; generalmente, los vehículos más grandes requieren más energía para operar y los vehículos más pequeños requieren menos. Las flotas pueden tener un tipo de autobús existente que funcione bien con las necesidades de su área de servicio, por lo que pueden estar interesados en autobuses de cero emisiones de tamaño similar. Otros pueden estar buscando incorporar tipos de autobuses alternativos para expandir la funcionalidad de la flota. Las agencias deben tener en cuenta el peso, la capacidad y la facilidad de maniobra al seleccionar entre la amplia gama de autobuses que existe. Algunos de los tipos comunes de autobuses de cero emisiones incluyen:



Autobús Estándar: Los autobuses estándar suelen tener entre 10,7 y 13,7 metros de largo con un ancho de 2,4 a 3,8 metros. Los autobuses convencionales de 40 pies pueden pesar hasta 15.000 kg, o 20.000 kg cuando están completamente cargados con pasajeros. Los autobuses estándar tienen dos ejes y pueden transportar a 30 pasajeros sentados o hasta 76 de pie.



Autobús de dos pisos: Un autobús de dos pisos tiene dos secciones, una encima de la otra, que proporcionan capacidad de asientos. Estos autobuses suelen tener tres ejes y su longitud varía comúnmente de 9.1 a 13.7 metros y pueden transportar hasta 120 pasajeros.



Autobús articulado: Un autobús articulado es un autobús de un solo piso con dos secciones de asientos conectadas por una articulación pivotante. Estos autobuses pueden transportar hasta 120 pasajeros y su peso oscila entre 17,237 y 22,680 kg vacíos, o hasta 29,483 kg completamente cargados y tienen una longitud de 18 metros.



Minibús o autobús de corte: Un minibús de corte es un tipo de autobús más pequeño con capacidad para aproximadamente 45 pasajeros. Estos autobuses suelen tener alrededor de 7.3 metros de longitud. Estos vehículos se basan en un chasis de furgoneta con un peso total entre 6,350 y 11,793 kg.



Trolebús: Un trolebús es un autobús que funciona con un sistema de cables aéreos, a menudo con sistemas de alimentación híbridos de diésel y electricidad. Un sistema de cables aéreos es un sistema de cables suspendidos que se utiliza para suministrar electricidad a un tranvía, un tranvía o

un trolebús. Los trolebuses convencionales pueden transportar hasta 70 pasajeros y los modelos estándar tienen un peso vacío de aproximadamente 12,247 kg y una longitud similar a la de un autobús estándar.



Vehículos de tres ruedas: Los vehículos de tres ruedas, conocidos como *rickshaws* o *tuk-tuks* en algunas partes del mundo, están equipados con tres ruedas y un chasis de lámina metálica. Estos son comunes en distintas variedades, pero a menudo se caracterizan por tener lados abiertos o con cortinas y controles de manillar para el operador.

Estudio de caso: Vehículos de transporte de tres ruedas con tecnología de hidrógeno

Institutos de investigación y fabricantes de India y Canadá están colaborando para establecer una nueva versión del vehículo de transporte de tres ruedas con tecnología de hidrógeno. El proyecto está financiado por la Global Innovation & Technology Alliance (GITA), en el marco del Programa de Investigación y Desarrollo Industrial Colaborativo India-Canadá. El programa Canadá-India fue establecido para facilitar actividades de investigación cooperativa orientadas a tecnologías innovadoras, como los vehículos de cero emisiones. Los nuevos diseños presentan un innovador cilindro de baja presión y menor costo para almacenar hidrógeno en vehículos más pequeños, como los rickshaws. Los rickshaws con tecnología de hidrógeno se introdujeron por primera vez en la industria en 2012 en Nueva Delhi con una flota de 15 vehículos. Los proyectos de investigación y desarrollo para este nuevo tipo de vehículo de cero emisiones fueron patrocinados por el Centro Internacional de Tecnologías de la Energía de Hidrógeno de la Organización de las Naciones Unidas (UNIDO ICHET).



Fuente: [DriveSpark](#)

Fuente: [Hydrogen in Motion Inc. Canada and H2E Power India to Develop a Hydrogen 3-Wheeler for Indian Global Markets](#), [World's first hydrogen-powered three-wheelers launched in New Delhi](#), [India-Canada Collaborative Industrial Research & Development Programme 2019](#)

¿QUÉ DEBEN CONSIDERAR LAS AGENCIAS DE TRANSPORTE ANTES DE SU TRANSFORMACIÓN A AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

Si bien las tecnologías de autobuses de cero emisiones han avanzado significativamente en la última década y ofrecen ahorros operativos a largo plazo en combustible y mantenimiento, también presentan muchos desafíos a tomar en cuenta, como los rangos más limitados que los autobuses tradicionales, mayores costos iniciales y una posible curva de aprendizaje pronunciada para implementar a gran escala. La implementación de una flota de autobuses de cero emisiones también puede requerir mejoras en la infraestructura de repostaje o carga eléctrica en los depósitos de autobuses. Esta herramienta proporciona una visión general de los problemas, desafíos, consideraciones y oportunidades inherentes al establecimiento o transición de flotas de transporte público a autobuses de cero emisiones, y proporciona recursos para ayudar a las agencias con el proceso.

Antes de adquirir una nueva flota de autobuses de cero emisiones, hay varias consideraciones que se deben tomar en cuenta. Las agencias pueden carecer de recursos o financiamiento, contar con un apoyo limitado por parte de las autoridades a cargo, carecer de un plan claro para facilitar la transición o tener restricciones regulatorias que podrían dificultar la expansión de la flota o la transición del tipo de vehículo. Muchas flotas deberán seguir un enfoque gradual debido a los altos constantes costos iniciales y el alcance del vehículo (es decir, la distancia que los vehículos pueden recorrer antes de necesitar ser recargados o repostados).

Para hacer frente a los altos costos iniciales y las mejoras en la infraestructura, las agencias deben explorar los incentivos de financiamiento público o privado disponibles, los reembolsos y otras opciones de financiación complementarias antes de establecer o transitar a tecnologías de cero emisiones. Además de las consideraciones de infraestructura física y costos, las flotas deberán capacitar a los conductores de autobuses y a otros miembros clave del personal, desarrollar planes de preparación para emergencias, realizar inspecciones regulares de la flota y la infraestructura de Cuando se instalen sistemas de carga en ruta, redes de cables aéreos, equipos de recarga de hidrógeno o se realicen cambios significativos en las estaciones de autobuses, las agencias también deberán tomar en cuenta lo siguiente con el fin de poder garantizar modernizaciones eficientes y colaborativas en la infraestructura adaptada a los autobuses de cero emisiones:

- Uso del suelo y zonificación: Revisar los códigos de uso del suelo local para determinar qué procesos de revisión, restricciones y desafíos pueden impedir las mejoras en la infraestructura.
- Derechos de propiedad y procesos de adquisición: Trabajar con agencias locales y expertos para comprender los procesos y procedimientos requeridos para expandir o desarrollar infraestructura.
- Trazado de cables en carreteras públicas: Trabajar con funcionarios de seguridad, servicios públicos eléctricos, planificadores de transporte y obras públicas para comprender qué restricciones y mejores prácticas existen para ejecutar una red de cables aéreos a lo largo de las calles públicas.

- Lineamientos de ruido: Tomar en cuenta las restricciones de nivel de ruido en una zona donde se estén realizando mejoras o desarrollo de infraestructura.
- Diseño de estaciones de autobús y señalización: Crear métodos para identificar y comunicar el equipo de carga cerca de áreas públicas.
- Servicios públicos locales: Diseñar y planificar los requisitos de infraestructura eléctrica.

Antes de hacer la transición a flotas de autobuses de cero emisiones, las agencias también deben considerar lo siguiente:

- Análisis financiero.
- Análisis del ciclo de vida.
- Consideraciones de adquisición.
- Consideraciones de planificación.

Análisis Financiero

Al evaluar las opciones de autobuses de emisión cero, es importante realizar un análisis financiero sólido que considere el precio de compra del activo, los costos variables operativos, incluidos los costos de energía y mantenimiento, la renovación, la depreciación, los valores de recuperación, etcétera. Este análisis debe compararse con los gastos de transporte de diésel tradicionales y también debe incorporar los impuestos al carbono aplicables en una jurisdicción determinada. Las agencias deben desarrollar planes para implementar estratégicamente vehículos de cero emisiones y establecer aplicaciones a pequeña escala para obtener resultados favorables a corto plazo. Estas inversiones iniciales pueden ayudar a las agencias a determinar cómo escalar financiera y operativamente y crear caminos hacia el éxito.⁶

Análisis del Ciclo de Vida

Cuando se realiza la transición a autobuses de cero emisiones, las agencias deben analizar los impactos ambientales del ciclo de vida del vehículo, desde la extracción de materias primas hasta la gestión de residuos al final de su vida útil. Los impactos del ciclo de vida de un producto pueden incluir contribuciones al cambio climático, contaminación del aire local y regional, repercusiones sobre la salud pública, impactos en la calidad del aire, del agua y el consumo de recursos. Los análisis adecuados y efectivos del ciclo de vida dependerán de la transparencia en la cadena de suministro. Las agencias deben evaluar los impactos del ciclo de vida a lo largo de su tenencia de la flota, no solo al hacer la transición a autobuses de cero emisiones. Las decisiones tomadas durante las fases del mantenimiento, operación y final de la vida útil de un autobús de cero emisiones también tendrán impactos en el ciclo de vida.

⁶ [The Beachhead Strategy: A Theory of Change for Medium- and Heavy-Duty Commercial Transportation](#), California Air Resources Board



Ejemplos de consideraciones del ciclo de vida incluyen:

- Extracción y procesamiento de materias primas:
 - Los vehículos eléctricos impulsados por batería, utilizan energía almacenada en una batería que funciona generalmente propulsada por la química de iones de litio.
 - Los minerales utilizados en los vehículos eléctricos de batería incluyen cobre, hierro, níquel, aluminio, grafito, litio y manganeso.
- Producción:
 - El tamaño y tipo de la batería, el tamaño del autobús, la eficiencia en la fabricación y la mezcla de generación de electricidad utilizada durante la producción, son todos factores que afectan en los impactos de la producción de autobuses eléctricos de batería.
 - La fase de fabricación de la batería consume la mayor cantidad de energía y genera emisiones durante la producción de vehículos eléctricos, seguida de la producción del motor eléctrico.
- Operación:
 - La mezcla de generación de electricidad utilizada para alimentar las baterías y producir hidrógeno es el factor más importante que determina los efectos

ambientales de los autobuses de cero emisiones. Si bien este tipo de vehículos no emiten contaminantes, sí emiten gases de efecto invernadero durante la quema de combustibles fósiles, que todavía es la fuente de combustible más común para la producción de electricidad y de hidrógeno en muchas jurisdicciones.

- Algunos gobiernos pueden tener la opción de trabajar con su compañía eléctrica para alimentar las estaciones de carga con energía renovable de baja intensidad de carbono, en lugar de combustibles fósiles (por ejemplo, energía hidroeléctrica).
- El frenado regenerativo es una forma en que los vehículos de cero emisiones aumentan su eficiencia energética durante la desaceleración gradual y en terrenos montañosos. Capacitar a los operadores para optimizar el frenado regenerativo puede conservar la carga de la batería y prolongar su vida útil.
- Los autobuses eléctricos utilizan un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión, lo que significa que tienen menos componentes y requieren menos mantenimiento con el tiempo. Además, la tasa de fallas mecánicas se reduce mucho, en comparación con los autobuses que funcionan con combustibles fósiles.
- Fin de vida útil:
 - Desde el punto de vista de la adquisición, las agencias deben considerar cuándo se retirará su flota actual de autobuses y su capacidad para obtener financiamiento para la adquisición de autobuses de cero emisiones
 - La disposición o el reciclaje inadecuados de las baterías pueden tener impactos ambientales negativos debido a la liberación de materiales tóxicos. Los sistemas de reciclaje de baterías de litio aún están en desarrollo, pero la creciente electrificación del sector del transporte ha impulsado la investigación y el desarrollo del reciclaje de este tipo de baterías.

Consideraciones para la adquisición de vehículos

Al igual que con cualquier otro vehículo de transporte, las agencias deben considerar cómo minimizar o eliminar algunos de los impactos sociales y ambientales durante la vida útil de un autobús de cero emisiones. Pueden crear o adoptar pautas de adquisición para reducir los impactos ambientales y sociales asociados con la obtención de vehículos de cero emisiones. Por ejemplo, las agencias pueden optar por establecer y hacer cumplir los requisitos relacionados con la excavación y manipulación de materiales de desecho durante las operaciones mineras, y promover y fomentar el uso de materiales reciclados.

Al seleccionar y trabajar con proveedores, las agencias deberán determinar si obtendrán los vehículos, equipos de carga/recarga y sistemas de control del mismo proveedor y, de no ser así, deberán asegurarse de la interoperabilidad entre los componentes. Las agencias también deben revisar cuidadosamente los términos de garantía, especialmente en lo concerniente a la batería y su capacidad.

Las agencias deberán considerar la carga y recarga como parte de la planificación de adquisiciones. En primer lugar, las agencias deben estimar las adquisiciones de autobuses en función de las necesidades del servicio, y luego, trabajar con los proveedores de servicios públicos locales desde el principio para alinear la adquisición con las mejoras/requisitos de infraestructura eléctrica. Los servicios públicos eléctricos locales también pueden proporcionar una estimación de financiamiento

basada en la estructura de tarifas actual o del proyecto, el número de vehículos en la flota de autobuses proyectada y la frecuencia de carga proyectada. Es recomendable tomar en cuenta que algunos servicios públicos cobran tarifas más altas durante los períodos de mayor demanda eléctrica, y las flotas querrán coordinar con los servicios públicos para determinar los horarios de carga y evitar las tarifas de demanda máxima. Estas conversaciones también ayudarán a prever los costos futuros de electricidad para cargar los vehículos.

Los enfoques de adquisición conjunta que involucran a varias agencias de transporte, asociaciones con fabricantes y especificaciones estandarizadas tienen el potencial de reducir los plazos de entrega de equipos, proporcionar economías de escala para los fabricantes de equipos y permitir la interoperabilidad interjurisdiccional para la carga.

Consideraciones para la planificación

Evaluación de Capacidades y Preparación de la Estación

El despliegue de autobuses de cero emisiones dependerá de la planificación en materia de transporte para determinar cómo se alinean las rutas de servicio actuales, cuáles son las tasas de pasajeros y qué necesidades existen para la instrumentación de un tipo de vehículo con necesidades de combustible y carga alternativas. Las agencias también deberán trabajar con actores relevantes para asegurarse de que las estaciones estén equipadas antes de la llegada de los nuevos vehículos, y si la estación no puede satisfacer completamente las necesidades de carga; cómo incorporar e instalar sistemas de carga oportuna o en ruta. Las pruebas piloto pueden ser diseñadas para evaluar la capacidad de la flota existente y determinar la escalabilidad del uso de autobuses de cero emisiones. Luego, los planificadores deberán establecer un plan de acción e instrumentación para su despliegue y puesta en marcha gradual. Las flotas requieren planificar inversiones en la modernización de las estaciones, equipos de almacenamiento de energía, sistemas de gestión energética en las instalaciones que cuenten con una capacidad de carga inteligente, herramientas de recopilación de datos, desarrollo de habilidades / desarrollo de la fuerza laboral, y equipos e infraestructura de carga y recarga a corto y largo plazo para respaldar la introducción de autobuses de cero emisiones.

Análisis de Rutas

El análisis de ruta sirve para determinar cómo la carga de los vehículos se alinearán con la duración y los horarios de las rutas. Este tipo de análisis considera aspectos como los horarios de servicio, patrones de tráfico, topografía y tiempos dentro y fuera de servicio cada día de la semana. Las agencias pueden utilizar este análisis para comprender mejor las necesidades de carga para cada escenario de ruta, de acuerdo con el tamaño del vehículo, la capacidad de la batería y el tiempo de recarga requerido. De esta manera, las agencias pueden identificar si necesitan aumentar la proporción de espacio, cambiar el porcentaje de vehículos no utilizados o rediseñar rutas y horarios de servicio para adaptarse a las necesidades de carga y recarga.

Infraestructura de Carga

Las agencias requieren considerar un enfoque sistémico para el despliegue de autobuses que incluya la planificación con empresas de servicios públicos locales y los departamentos de obras públicas para tomar decisiones sobre la infraestructura de carga o recarga necesaria para los autobuses de cero emisiones. La capacidad para satisfacer las necesidades de una nueva flota de autobuses eléctricos

depende de la capacidad de la red eléctrica en el área. Las agencias deben determinar si dicha red puede manejar la cantidad de electricidad que requiere una flota de autobuses eléctricos. Además, las agencias deben establecer relaciones con las empresas de servicios públicos desde el principio para garantizar que el suministro de electricidad sea suficiente y que las mejoras en la infraestructura se realicen a tiempo para la llegada de la flota de autobuses eléctricos.

Optimización de la Carga

Como se ha mencionado anteriormente, la implantación de una flota de autobuses eléctricos de batería tendrá repercusiones en la red eléctrica. Las agencias deben establecer un perfil operativo y modelizar las rutas para determinar cómo optimizar el proceso de carga, seleccionar las capacidades de batería adecuadas, optimizar el número de cargadores/tiempo de carga necesarios y cualquier otro requisito que pueda ser necesario para los nuevos autobuses. Los perfiles operativos de la flota y la modelización de las rutas incluyen información sobre la distancia recorrida al día por vehículo, el número de paradas, las velocidades medias y máximas, las condiciones climáticas de las rutas, la topología de las rutas, los requisitos de kilometraje de la dinámica de usuarios entre la carga y la puesta en servicio, las horas de funcionamiento por vehículo y las horas no operativas que están disponibles para cargar las baterías. Esta información es fundamental para predecir mejor el rendimiento real de la flota y optimizar la carga en el depósito. Una vez creados el perfil operativo y los modelos, las flotas pueden optimizar la carga mediante un par de estrategias diferentes:

- Instalando cargadores de alta potencia, ya sea en ruta o en el depósito, para cargar las flotas de autobuses de manera más eficiente.
- Revisando las rutas de los autobuses según sea necesario para permitir horarios de carga escalonados y maximizar el tiempo de carga.

Para más información:

- [Best Practices and Key Considerations for Transit Electrification and Charging Infrastructure Deployment to Deliver Predictable, Reliable and Cost-Effective Fleet Systems](#), Canadian Urban Transit Research Consortium (CUTRIC)
- [Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods](#), Journal of Cleaner Production
- [Environmental Effects of Battery Electric and Internal Combustion Engine Vehicles](#), Congressional Research Service
- [Standard Bus Procurement Request for Proposal \(RFP\)](#), American Public Transportation Association
- [Preparing to Plug In Your Bus Fleet](#), American Public Transportation Association
- [Critical Minerals in Battery Electric Vehicles](#), Congressional Research Service
- [Zero-Emission Bus Implementation Strategy](#), London Transit
- [Federal LCA Commons Data Repository](#), U.S. Department of Agriculture

¿CÓMO PUEDEN LAS AGENCIAS ASEGURAR QUE LOS BENEFICIOS DE LA TRANSICIÓN A AUTOBUSES DE CERO EMISIONES SE DISTRIBUYAN DE MANERA EQUITATIVA?

Es importante equilibrar la distribución de beneficios al implementar autobuses de cero emisiones para promover la equidad. El sector del transporte es responsable de casi una cuarta parte de todas las emisiones globales de gases de efecto invernadero, además de la contaminación local generada por los motores de combustión.⁷ Los residentes de comunidades en áreas densamente pobladas suelen estar expuestos a altos niveles de contaminación del aire. En los Estados Unidos, las comunidades de bajos ingresos históricamente dependen más de las opciones de transporte público para desplazarse hacia y desde el trabajo, y a menudo están más expuestas a las emisiones relacionadas con el transporte.⁸ Las estaciones y las instalaciones de mantenimiento de autobuses ubicados en vecindarios de bajos ingresos pueden aumentar la contaminación local del aire cuando estos lugares atienden a autobuses de diésel tradicionales.

Existen múltiples formas de integrar la equidad en el despliegue de autobuses de cero emisiones. Muchas flotas de este tipo de transporte comenzarán con un área de prueba o un programa piloto. Las agencias pueden seleccionar de manera estratégica comunidades históricamente desfavorecidas como área de prueba para instrumentar el primer conjunto de autobuses de cero emisiones. Lo anterior, para asegurar que estas comunidades tengan acceso temprano y constante a las nuevas tecnologías, experimenten una reducción considerable de contaminación en sus zonas y mantengan experiencias de viaje más placenteras asociadas a los beneficios de los vehículos de cero emisiones.⁹ De manera similar, al determinar qué rutas se asignan a los vehículos de cero emisiones, se debe considerar una perspectiva de equidad para garantizar que los vehículos de tránsito más nuevos, limpios y silenciosos sirvan a todas las comunidades, especialmente a aquellas que dependen más de las opciones de transporte público.

Las agencias también pueden considerar oportunidades de desarrollo laboral para las poblaciones desfavorecidas en las contrataciones de conductores y personal de operaciones y mantenimiento; así como al construir infraestructura de carga. Las agencias deben tomar en cuenta la equidad y los impactos en las poblaciones de bajos ingresos o en situación de marginación al planificar la expansión de la infraestructura de carga y recarga, como posibles riesgos ambientales o interrupciones en el suministro de energía.

Para mas información:

- [Battery Electric Buses – State of the Practice](#), Transit Cooperative Research Program
- [Guidebook for Deploying Zero-Emission Transit Buses](#), Transportation Cooperative Research Board

⁷ [Transport](#), United Nations Environment Programme

⁸ [Who Relies on Public Transportation in the U.S.](#), Pew Research Center

⁹ [Guidebook for Deploying Zero-Emission Transit Buses](#), Transportation Research Board

- [Electric trolley bus - Metro expands our Electric trolley bus fleet](#), King Country Metro
- [A Guidebook for Implementing Battery Electric Buses](#), National Renewable Energy Laboratory
- [Best Practices and Key Considerations for Transit Electrification and Charging Infrastructure Deployment to Deliver Predictable, Reliable, and Cost-Effective Fleet Systems](#), Canadian Urban Research Transit and Innovation Consortia
- [How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen?](#), U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Center
- [15 years of the low-floor trolleybus in Metro Vancouver](#), TransLink
- [Public Transportation's Role in Responding to Climate Change](#), U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration
- [Electric Buses: Clean Transportation for Healthier Neighborhoods and Cleaner Air](#), PennEnvironment Research & Policy Center

¿QUÉ BENEFICIOS APORTA LA TRANSICIÓN A LA OPERACIÓN CON AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

La transición de flotas de autobuses que funcionan con combustibles fósiles a flotas de autobuses de cero emisiones puede proporcionar muchos beneficios. Estos beneficios se dividen en tres categorías:

- Beneficios Ambientales
- Beneficios para la Salud
- Beneficios Sociales

Beneficios Ambientales

Un estudio sueco de 2019 comparó los impactos ambientales del ciclo de vida de autobuses diésel y eléctricos.¹⁰ Este estudio consideró todos los aspectos de la vida del vehículo, incluida la extracción de materias primas, las emisiones durante la operación y la gestión de residuos al final de su vida útil. Los investigadores determinaron que las emisiones de CO₂ en los contextos de Suecia, la Unión Europea y Estados Unidos eran significativamente más bajas para los autobuses eléctricos que para los autobuses diésel, incluso teniendo en cuenta las emisiones durante la producción de los vehículos. Se determinó que los autobuses eléctricos tienen el mayor potencial para reducir las emisiones en general a largo plazo, especialmente cuando se utiliza electricidad producida por fuentes de energía renovable.

Los gobiernos subnacionales, los municipios y las agencias de transporte que persiguen metas autoimpuestas para mitigar sus impactos en el cambio climático pueden aprovechar la electrificación de los autobuses para reducir las emisiones. Promover el transporte público en general contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al disminuir el número de vehículos que funcionan con combustibles fósiles en las carreteras.

Impactos ambientales del ciclo de vida de los autobuses de cero emisiones

Algunos podrían argumentar que los autobuses de cero emisiones solo se consideran "cero emisiones" en un sentido muy limitado. La carga de las baterías requiere electricidad, y la mayoría de las redes eléctricas en todo el mundo aún se alimentan principalmente mediante la quema de combustibles fósiles.

Los gobiernos deberán considerar las emisiones del ciclo de vida en la producción y operación de un autobús de cero emisiones. La eliminación de las emisiones del escape mediante el uso de autobuses de cero emisiones es un beneficio importante al alejarse de los autobuses que funcionan con combustibles fósiles, pero los vehículos de cero emisiones aún participan en la extracción de recursos dañinos durante la producción y en la quema de combustibles fósiles para alimentar los vehículos.

¹⁰ Anders Nordelöf, Mia Romare, Johan Tivander, Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel, Transportation Research Part D: Transport and Environment, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.019>.

Beneficios para la salud

Las emisiones de los autobuses que queman combustibles fósiles pueden deteriorar significativamente la calidad del aire local. La exposición a contaminantes como material particulado, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, comúnmente presentes en los gases de escape de los vehículos que queman combustibles fósiles, puede contribuir a un aumento de las enfermedades pulmonares, enfermedades cardíacas y asma, y puede empeorar los efectos de enfermedades como COVID-19. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos ha clasificado los gases de escape de los motores diésel como un probable carcinógeno.

Una colección de investigaciones realizadas en China, Europa y Estados Unidos ha estudiado la conexión entre los contaminantes locales del aire y COVID-19. Un estudio de la Universidad de Harvard en 2020 determinó que las fuentes de contaminación local, especialmente aquellas que emiten material particulado (MP), pueden aumentar los efectos de COVID-19.¹¹ La contaminación del aire y COVID-19 agregan estrés respiratorio al cuerpo, y un mayor estrés respiratorio puede ser peligroso, especialmente para las personas con afecciones cardíacas y pulmonares preexistentes. El estudio también identificó una asociación entre la exposición a largo plazo a la contaminación del aire y tasas de mortalidad más altas por COVID-19. La investigación también concluye que la contaminación local de los autobuses contribuye a tasas y costos más altos de enfermedades respiratorias como enfermedades cardíacas, enfermedades pulmonares, cáncer y asma.

En mayo de 2022, Delhi, India, puso en circulación 150 autobuses eléctricos para un estudio¹² con el objetivo de prever los posibles beneficios de reemplazar toda la flota de autobuses actual de Delhi con autobuses de cero emisiones. Estos nuevos autobuses se sumaron a la flota existente de autobuses de gas natural comprimido (GNC). El estudio evaluó zonas de tráfico selectas en 11 distritos de Delhi para analizar las condiciones de contaminación existentes con las emisiones de la flota actual de autobuses de GNC.



Fuente: Current Science

Los investigadores observaron una reducción de casi el 75 por ciento en la contaminación emitida al cambiar a autobuses de cero emisiones, lo que equivale a una reducción de casi 44 toneladas de material particulado de 2,5 micras en el aire. El estudio concluyó que la transición a autobuses de cero emisiones es una estrategia de reducción de la contaminación que, según los investigadores, podría resultar en 1.370 muertes menos debido a la contaminación del aire y un ahorro de costos de morbilidad y mortalidad de más de 300 millones de dólares en Delhi.

¹¹ [Coronavirus and Climate Change](#), Harvard T.H. Chan School of Public Health

¹² Anders Nordelöf, Mia Romare, Johan Tivander, Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel, Transportation Research Part D: Transport and Environment, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.019>.

Estudio de caso: Ruta de Transporte Público Eléctrico implementada en el Área Metropolitana de Guadalajara, en Jalisco, México

En 2021, se integró la primera ruta de autobuses completamente eléctricos en Jalisco en la red de Transporte Público, Mi Transporte. Con un total de 38 autobuses, esta ruta brinda servicio con un recorrido de 162 km al este del área metropolitana de Guadalajara, específicamente al municipio de Tonalá, una zona que históricamente ha carecido tanto de infraestructura urbana como de una demanda de transporte público de calidad.

El objetivo principal de la ruta de electromovilidad es renovar sustancialmente la movilidad en el área al mejorar la conectividad de los barrios marginales adyacentes al Nuevo Periférico Oriente, como Jalisco, Los Conejos, San Gaspar, Coyula y Jauja. La ruta beneficia principalmente a la población estudiantil que asiste al Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara, con un total de más de 9,000 pasajeros al día. *Mi Transporte Eléctrico* está alineado con los objetivos del Plan de Acción Climática Metropolitana y el Programa Estatal de Acción contra el Cambio Climático. La implementación del plan contribuye al objetivo de lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el año 2050. La reducción de las emisiones se logrará mediante un sistema de transporte metropolitano integrado, eficiente y de calidad que aumente la infraestructura para la movilidad masiva y no motorizada.



Para el año 2030, el objetivo es reemplazar el 100 por ciento de los vehículos de transporte público con tecnología de baja emisión y operar bajo esquemas de servicio nuevos y más eficientes para los usuarios. El 23 de febrero de 2023, la ruta C98 de Mi Transporte Eléctrico completó 600 días de operación, durante los cuales ha recorrido más de 5,349 kilómetros y realizado 5.3 millones de traslados de usuarios. Desde que comenzaron

las operaciones el 4 de julio de 2021, se han evitado la emisión de 6,546 toneladas de CO₂ y 1.66 toneladas de Material Particulado (PM₁₀), un grupo de partículas sólidas y líquidas que causan enfermedades respiratorias.

A mediados de octubre de 2022, la ruta ganó el Premio Nacional de Transporte y Movilidad Urbana, otorgado por la Asociación Mexicana de Transporte y Movilidad en su 13ª edición, compitiendo contra proyectos nacionales e internacionales.

Fuente: [Mi Transporte Eléctrico Celebra Primer Año de Operaciones](#)

Beneficios Sociales

Los autobuses de cero emisiones pueden tener impactos sociales positivos en las comunidades a las que sirven. Por lo general, los autobuses de cero emisiones son más silenciosos que los autobuses que funcionan con combustibles fósiles, lo que reduce la contaminación acústica. Un estudio en Alemania determinó la diferencia de ruido entre los autobuses diésel, los autobuses híbridos eléctricos y los autobuses de celdas de combustible de hidrógeno.¹³ Una vez que los autobuses alcanzan una velocidad de 50 km/h, el ruido de la carretera generado por cada uno se iguala y es aproximadamente igual entre los tres. A velocidades más lentas o cuando están estacionados, el autobús diésel opera consistentemente con el nivel de decibelios más alto, seguido del autobús híbrido eléctrico y finalmente el autobús de celdas de combustible de hidrógeno.

Una nueva flota de autobuses de cero emisiones también puede ser una oportunidad para que las flotas vuelvan a ofrecer opciones de transporte para los residentes. Por ejemplo, CapMetro, el proveedor en Austin, Texas, está transformando su sistema de transporte regional. Su proyecto Connect reimaginará la conectividad de su red, incluyendo una expansión del tren ligero y una flota de autobuses de cero emisiones. Sus primeros autobuses eléctricos se introdujeron en 2020 y fueron decorados con arte proporcionado por estudiantes de la escuela primaria Campbell de Austin. Para ayudar a los residentes y visitantes a familiarizarse con los nuevos vehículos y las rutas de la zona, CapMetro creó

Estudio de caso: Amplios beneficios de los autobuses de cero emisiones

La Corporación de Transporte Metropolitano de Bangalore (BMTC) investigó el potencial de una flota de autobuses eléctricos para ayudar a abordar las preocupaciones locales sobre la contaminación del aire. La BMTC puso en marcha un programa de prueba de tres meses con un autobús eléctrico de batería y un autobús diésel en una ruta muy transitada de la ciudad.

El autobús que funcionaba con combustibles fósiles tenía una mayor capacidad de asientos (la disposición de un autobús eléctrico debe adaptarse a una batería grande, lo que reduce la capacidad de pasajeros), pero ambos generaron ingresos por tarifas similares debido al entusiasmo de los pasajeros por viajar en los autobuses eléctricos. El autobús que funcionaba con combustibles fósiles tenía un mayor alcance que el autobús eléctrico, ya que el autobús eléctrico solo podía cargarse por la noche. El autobús eléctrico no emitía contaminantes atmosféricos. Además de una mejor calidad del aire, los investigadores determinaron que la contaminación acústica se redujo debido a que los autobuses eléctricos generaban menos ruido y vibración.

Los investigadores determinaron que reemplazar incluso un autobús por un modelo eléctrico podría evitar la emisión de aproximadamente 25 toneladas de CO₂ al año, incluso teniendo en cuenta las emisiones asociadas a la electricidad utilizada para la carga.

Fuente: [Bangalore Metropolitan Transport Corporation \(BMTC\)](#)

¹³ [Modelling noise reductions using electric buses in urban traffic: A case study from Stuttgart, Germany](#), 2019, Transportation Research Procedia

un mapa de la zona bajo demanda titulado *Electric Bus Tracker*¹⁴ (Rastreador de Autobuses Eléctricos).

Desplegar flotas de autobuses de cero emisiones puede permitir a las agencias dar forma al diálogo en torno a estrategia de movilidad de una comunidad y las estrategias de reducción de GEI. Los residentes de la comunidad suelen percibir el servicio de autobuses de cero emisiones como un modo de transporte emocionante e innovador. La rotulación de autobuses puede utilizarse para promocionar las ventajas de los autobuses de cero emisiones entre las comunidades locales.



Fuente: LakeTran

Para más información:

- [Coronavirus and Climate Change](#), Harvard T.H. Chan School of Public Health
- [The Time Has Come to Electrify the Chicago Transit Authority Bus Fleet](#), Respiratory Health Association
- [The impact of electric buses on urban life](#), International Association of Public Transport
- [Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs](#), International Journal of Sustainable Transportation
- [Increased e-buses in Delhi could reduce pollution-related mortality, morbidity: study](#), Mongabay
- [Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel](#), Transportation Research Part D: Transport and Environment
- [Quantifying the multiple environmental, health, and economic benefits from the electrification of the Delhi public transport bus fleet, estimating a district-wise near roadway avoided PM2.5 exposure](#), Journal of Environmental Management
- [Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis](#), Science Advances

¹⁴ [Electric Fleet](#), CapMetro

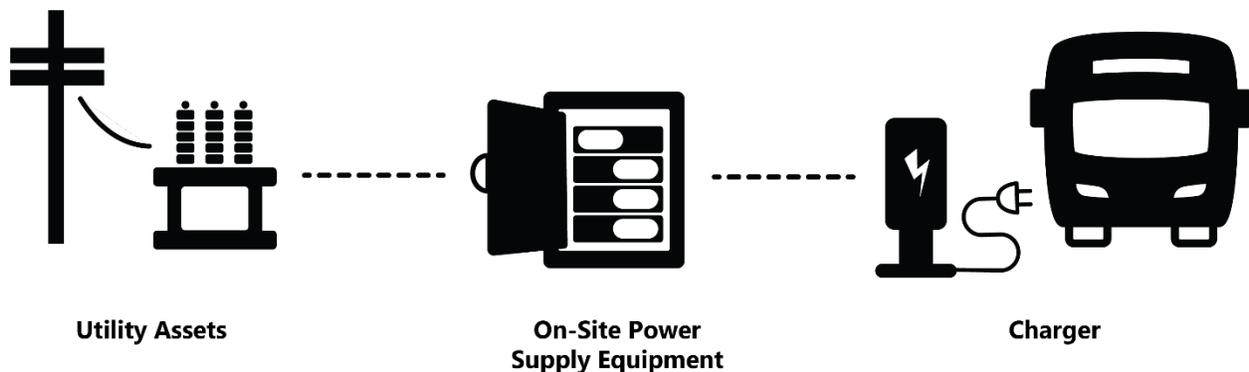
¿CUÁLES SON LAS NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA DE LOS AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

Los autobuses de cero emisiones están impulsados por un motor eléctrico alimentado por hidrógeno o electricidad almacenada, respectivamente. Para respaldar la transición de los autobuses que funcionan con combustibles fósiles a flotas de autobuses de cero emisiones, las agencias deberán replantear su infraestructura de carga de vehículos. Agregar nuevos equipos de carga conlleva costos y consideraciones de ingeniería, diseño, materiales, gestión, equipos y construcción. Antes de adquirir los nuevos autobuses, las agencias deberán establecer la infraestructura de recarga o reabastecimiento necesaria y los procedimientos de mantenimiento asociados.

Autobuses Eléctricos de Batería

Consideraciones de Infraestructura en las Terminales de Autobuses Eléctricos de Batería

Las flotas de autobuses eléctricos de batería requieren infraestructura de carga de baterías que se instale de manera gradual para respaldar una flota en expansión. La mayoría de los autobuses eléctricos de batería utilizarán cargadores de corriente continua (CC) de alta potencia. Los propietarios de las flotas pueden maximizar la eficiencia de carga y reducir los costes de capital adquiriendo cargadores con múltiples enchufes que permitan que varios autobuses se carguen desde una fuente única de CC de alta potencia. Por ejemplo, dos o tres autobuses podrían cargar simultáneamente, o secuencialmente, lo que podría ralentizar las tasas de carga, pero requiere que el personal de la flota mueva los autobuses entre los cargadores con menos frecuencia. Los vehículos más pequeños, como furgonetas o vehículos de tres ruedas, a menudo se pueden cargar utilizando cargadores de menor potencia.



La carga en la terminal es actualmente el método más común para cargar flotas de autobuses eléctricos de batería. Dependiendo del tamaño de la flota, será necesario instalar varios cargadores in situ. Las agencias deben trabajar con su compañía eléctrica local para determinar el nivel actual de servicio eléctrico y la infraestructura eléctrica in situ ya existente para identificar las necesidades de equipos adicionales. Para determinar el tipo y el número adecuado de cargadores, las agencias deberán tener en cuenta las limitaciones de espacio, la estructura de tarifas eléctricas, las necesidades de servicio, las variables de la ruta (por ejemplo, longitud, cambios de rasante, tipo de superficie) y las condiciones climáticas. Además, la ubicación y la distribución de los cargadores deben

planificarse de forma que no obstaculicen otras funciones de la terminal, como la limpieza, las reparaciones y el estacionamiento.

Las agencias deben considerar la construcción de una infraestructura de carga que sea flexible y adaptable a las necesidades cambiantes. En primer lugar, deben considerar si la superficie actual de la terminal es suficiente para albergar la infraestructura de recarga necesaria y, en caso contrario, considerar la posibilidad de ampliar la terminal (si el uso del suelo lo permite) u optar por la recarga en ruta. Las agencias también pueden optar por almacenar energía de reserva in situ mediante baterías.



Los sistemas de gestión de la energía y el software también son esenciales para optimizar los activos eléctricos in situ/en la terminal, el rendimiento de los autobuses y minimizar los costes energéticos generales.

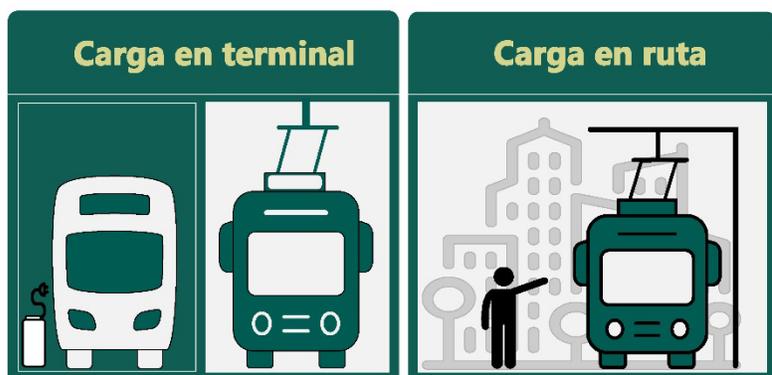
Opciones de carga en ruta

Las agencias pueden considerar la implementación de la carga en ruta para los autobuses eléctricos de batería en lugar de, o en combinación con, la carga en la terminal, especialmente para los autobuses que recorren rutas más largas. La carga en ruta, también conocida como carga de oportunidad, es una forma de asegurar que los autobuses eléctricos de batería tengan suficiente energía para operar en rutas largas sin necesidad de regresar a la terminal para cargar. Las opciones de carga en ruta incluyen la carga inalámbrica inductiva aérea o subterránea, o el equipo de carga por cable/enchufable a lo largo de las rutas. Estas tecnologías de recarga son más recientes y pueden ser más costosas de construir y de alimentar que los sistemas de carga en la terminal. Requieren una capacidad de carga rápida y de alta potencia para permitir que las baterías de los autobuses se carguen lo más rápido posible y continúen con sus rutas. Estas aplicaciones de carga pueden colocarse estratégicamente donde se cruzan varias rutas para optimizar el uso y la disponibilidad de la recarga.

En Londres, los pantógrafos en ruta proporcionan carga adicional a los autobuses eléctricos de batería en menos de 10 minutos. La cantidad de carga necesaria para un sistema de carga de oportunidad dependerá del tamaño de la batería, la longitud de la ruta y la corriente del sistema de

energía. También se pueden instalar sistemas de pantógrafos en terminales o estaciones para la carga durante la noche u otros momentos fuera de servicio.

Los *equipos de recarga en ruta* pueden permitir que varios tipos de vehículos utilicen la misma infraestructura de recarga. A



medida que los vehículos eléctricos ganan popularidad, los cargadores de enchufe se pueden encontrar en estacionamientos y garajes para uso de automóviles eléctricos de batería, bicicletas y vehículos de transporte público más pequeños con batería, como furgonetas, autobuses y bicitaxis. La carga en ruta requiere equipos que puedan cargar de manera suficiente y rápida la batería de un autobús y espacios de estacionamiento dedicados para autobuses, lo que puede dificultar su escalabilidad, especialmente en áreas de alta densidad. El aumento de la recarga en ruta puede ser adecuado para el transporte privado o informal.

La *carga aérea en ruta* permite cargar las baterías de los autobuses mediante dispensadores de pantógrafo o enchufes. Un pantógrafo es un equipo de carga montado en el techo del autobús o, en el estilo invertido, se extiende desde un mástil aéreo hasta el techo del autobús y se conecta con el sistema eléctrico del autobús para cargar la batería. Esta tecnología de carga se instala a menudo junto a una parada de autobús o zona de descanso, o como parte de ella.

La *carga inalámbrica subterránea* permite que los autobuses se recarguen continuamente a través de una conexión inductiva con bobinas de cobre instaladas debajo de la carretera. Los autobuses deberán tener un receptor especial montado en el chasis. La carga inalámbrica subterránea requiere la reconstrucción de las carreteras por las que circulan los autobuses. Esta solución, al igual que la opción de carga aérea, permite que los autobuses aumenten su autonomía con baterías más pequeñas.



Fuente: [Alliance for an Energy Efficient Economy](#)

Debido a que los autobuses se cargan continuamente a lo largo de parte de sus rutas, esta opción puede eliminar el tiempo de inactividad que suele producirse durante la carga.

La *carga inductiva inalámbrica subterránea* generalmente se realiza en un lugar fijo, como un punto de parada donde el autobús se mantiene en ralentí durante 10 minutos o más. Hay proyectos piloto, como el sistema de carga inalámbrica subterránea que se está probando en una ruta de autobús de dos kilómetros en Tel Aviv, Israel, que demuestran la carga inalámbrica de vehículos en movimiento con carga inalámbrica debajo de la carretera.

Consideraciones de utilidad

La producción y distribución de electricidad está estrechamente relacionada con la demanda en cada momento. Históricamente, la demanda de electricidad alcanza su punto máximo (y, por lo tanto, las tarifas pueden ser más caras) en la tarde y primeras horas de la noche. Las agencias pueden establecer horarios de carga que eviten los momentos de mayor demanda, como cargar durante la noche o en las primeras horas de la mañana. El almacenamiento de baterías estacionarias en las terminales también puede ayudar a reducir la demanda máxima de energía. Las agencias deben trabajar con sus empresas eléctricas locales para establecer un plan de energía de respaldo en caso de interrupciones de energía. Las opciones de suministro de energía complementarias incluyen un generador en el lugar o baterías secundarias. Las agencias también deben coordinarse con los servicios de gestión de emergencias para establecer medidas de seguridad contra incendios para los vehículos, la terminal y cualquier lugar de carga oportuna. Además, las instalaciones pueden considerar complementar la energía de la red mediante la generación de energía autónoma a través de paneles solares o turbinas eólicas.

Estudio de caso: Estación de Autobuses Microgrid de Montgomery County, Maryland USA

En octubre de 2022, el sistema de transporte del condado de Montgomery, Maryland, completó la construcción del Brookville Smart Energy Depot. Esta terminal es líder en innovación y autosuficiencia energética, y es la tercera de su tipo en los Estados Unidos en contar con una matriz solar y una microred de 6.5 MW. Los 1.6 MW de paneles solares están montados en las estructuras de estacionamiento que también sirven como lugares de carga para la flota de autobuses casi completamente eléctricos del condado. La terminal también cuenta con 3 MW de baterías de respaldo para almacenar la energía solar. Proporcionar energía en el lugar permitirá al condado ahorrar costos a través de tarifas eléctricas fijas. La microred funciona como una fuente de generación de energía que puede proporcionar un servicio de autobús confiable para los usuarios del área, incluso en caso de cortes de energía a largo plazo. El condado tiene como objetivo completar la transición de su flota de 400 vehículos a autobuses de cero emisiones para 2035. El gobierno del condado estableció una asociación público-privada con AlphaStruxure en mayo de 2021 para diseñar, financiar, ser propietario y operar la transición de la flota y la construcción de la terminal.

Fuente: [Montgomery County Completes Nation's Largest Bus Microgrid and Charging Infrastructure Project in Silver Spring](#)

Autobuses Eléctricos con Cableado

Consideraciones sobre la Infraestructura de la Red Aérea

Los autobuses eléctricos con cableado, o trolebuses de cero emisiones, están equipados con mástiles para conectarse a los cables aéreos y baterías para proporcionar energía adicional. La cantidad de cables aéreos y el tiempo de carga necesario bajo los cables para mantener un trolebús depende de las condiciones y la longitud de la ruta, el tamaño del autobús, el tamaño de la batería y la velocidad

del vehículo. Las agencias deben trabajar con sus agencias de obras públicas y planificación para determinar el enfoque más económico y de conservación ambiental para establecer un sistema de cables aéreos en toda la zona de servicio. Habrá una cantidad predeterminada de energía que se debe suministrar a los cables; las agencias deberán consultar con los servicios públicos de energía locales para determinar si la ubicación y capacidad de las subestaciones es suficiente.

Celdas de Combustible de Hidrógeno

Consideraciones de Infraestructura en las Terminales de Autobuses

El apoyo a una flota de autobuses de celdas de combustible de hidrógeno requiere la instalación de estaciones de abastecimiento equipadas con tanques de almacenamiento, bombas, vaporizadores, almacenamiento gaseoso de amortiguación y dispensadores. Esta infraestructura reemplazaría la infraestructura de suministro de combustible diésel existente una vez que se complete la conversión de toda la flota, pero durante el proceso de conversión, tanto la infraestructura de abastecimiento de hidrógeno como la de combustible diésel deberán estar en funcionamiento. Además, el hidrógeno puede generarse en el lugar o ser entregado desde otro lugar; las agencias deben considerar qué enfoque sería más apropiado según la disponibilidad de recursos y la infraestructura actual. La instalación de estaciones de carga de hidrógeno y suministros de combustible puede ser compleja y costosa, pero una vez establecidas, se necesitarán pocas mejoras adicionales de la infraestructura para respaldar la flota de autobuses de celdas de combustible de hidrógeno. Las agencias deben trabajar con los proveedores de combustible de hidrógeno para establecer planes de contingencia o crear almacenes de reserva en caso de interrupciones en el suministro. El hidrógeno, aunque esté bien sellado en la terminal y cuando se transporta en tanques en el autobús, sigue siendo una sustancia altamente inflamable. Las agencias deben trabajar con los responsables de la gestión de emergencias para implementar un plan de seguridad contra incendios tanto en la terminal como en la ruta

Estudio de caso: Hidrógeno Verde en Champaign-Urbana, Illinois USA

El Distrito de Transporte Masivo de Champaign-Urbana (MTD) es la primera agencia de transporte en los Estados Unidos que utiliza energía renovable en el lugar para alimentar sus autobuses de celdas de combustible de hidrógeno. Para generar el hidrógeno, el MTD ha instalado un electrolizador que separa el agua en hidrógeno y oxígeno utilizando energía solar. Actualmente, la producción de hidrógeno en el lugar puede abastecer de 12 a 15 autobuses de celdas de combustible de hidrógeno. Los 5,500 paneles solares se instalaron en colaboración con el Distrito Sanitario de Urbana-Champaign en un terreno proporcionado por el Departamento de Obras Públicas de Champaign.



Fuente: [Champaign-Urbana Mass Transit District](https://www.champaign-mass.gov/transportation/hydrogen-fuel-cell-electric-buses)

El MTD comenzó por primera vez su transición de flota en 2009 al adquirir autobuses híbridos diésel-eléctricos. En 2021, la flota adquirió dos autobuses eléctricos de celdas de combustible de hidrógeno de 60 pies, siendo estos sus primeros autobuses verdaderamente de cero emisiones. Para 2040, el MTD planea que más de la mitad de la flota esté compuesta por autobuses de celdas de combustible de hidrógeno alimentados por energía solar in situ.

Para más información:

- [Preparing to Plug In Your Bus Fleet](#), American Public Transportation Association
- [A Zero-Emission Transition for the U.S. Transit Fleet](#), Center for Transportation and the Environment
- [This Electric Road Charges an EV While You Drive](#), AutoEvolution
- [Energy transition: The necessary evolution of bus depots to accommodate electric vehicles with Comeca](#), CCI France UAE
- [The Impact of Electric buses on Urban Life](#), The International Association of Public Transport
- [Infrastructure for In Motion Charging Trolleybus Systems](#), The International Association of Public Transport

¿CÓMO PUEDEN LAS AGENCIAS DE TRANSPORTE DETERMINAR LA MEJOR OPCIÓN DE AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

Dado que hay muchas opciones de autobuses de cero emisiones y fuentes de energía, las agencias deben evaluar los diferentes tipos de vehículos y fuentes de energía para determinar la tecnología de cero emisiones más efectiva para implementar según sus necesidades. Se alienta a las agencias a investigar y evaluar diferentes autobuses según las necesidades de servicio actuales en diversas condiciones para evaluar el rendimiento del autobús durante toda su vida útil. La planificación de escenarios puede ser útil para ayudar a evaluar diferentes opciones y predecir problemas operativos. Además de alinear el tipo o tamaño del vehículo y la capacidad de la fuente de energía con las necesidades de servicio, otras consideraciones para seleccionar un autobús de cero emisiones incluyen:

- **Escalabilidad:** ¿Qué tecnologías de autobuses de cero emisiones se alinean con los recursos existentes y se prestan a fuentes de financiamiento locales o regionales para aumentar la flota a corto plazo?
- **Seguridad:** ¿Existen preocupaciones de seguridad específicas en su región que podrían favorecer una tecnología de cero emisiones sobre otra?
- **Longitud de la Ruta:** ¿Cómo se alinean las longitudes de las rutas de autobús con la autonomía de los autobuses de cero emisiones?
- **Ubicación del Área de Servicio:** ¿Está el área de servicio ubicada en un lugar expuesto a temperaturas extremas o características topográficas que podrían afectar el rendimiento y la autonomía del autobús de cero emisiones?
- **Configuración del Área de Servicio:** ¿Cómo podría la disposición o configuración de las calles en la región afectar la necesidad de mayor autonomía en un autobús de cero emisiones?
- **Costos del Ciclo de Vida:** ¿Cuáles son los costos iniciales de implementar un tipo particular de autobús de cero emisiones? ¿Cuáles son los costos del ciclo de vida? ¿Cómo financiará la flota los costos iniciales y del ciclo de vida?
- **Problemas Comunes del Sistema:** ¿Cuáles son los problemas más comunes al operar tecnologías de vehículos de cero emisiones a corto plazo? ¿Y a largo plazo?
- **Suministro de Piezas:** ¿Existen múltiples opciones de fabricación para diversificar el suministro de vehículos y piezas? ¿Hay acceso adecuado a técnicos de servicio calificados?
- **Acceso Confiable a Combustible / Electricidad:** ¿Qué tan disponible y accesible es el suministro de hidrógeno o electricidad en el área? ¿Qué tan volátil es el suministro?
- **Costo de Combustible / Electricidad:** ¿Cuáles son las tarifas locales de energía y de hidrógeno? ¿Cómo es probable que fluctúen en los próximos años?
- **Accesibilidad:** ¿Cómo afectará la incorporación de baterías al diseño del autobús a la disposición de los asientos de los pasajeros?

Estudio de caso: Autobuses de Cero Emisiones y Condiciones Climáticas de Invierno en Edmonton, Canadá

El Servicio de Tránsito de Edmonton (ETS), la agencia de transporte público de la ciudad de Edmonton, Canadá, ha incorporado 60 autobuses eléctricos a sus servicios de transporte. La mayoría de los autobuses eléctricos operan desde el recién construido Garaje de Tránsito Kathleen Andrew, equipado con estacionamiento cubierto para autobuses y cargadores de pantógrafo suspendidos. El objetivo del ETS es operar una flota de transporte público neutral en emisiones para el año 2050. Las temperaturas extremadamente frías, como las experimentadas durante los inviernos de Edmonton, pueden afectar la autonomía y capacidad de la batería de los vehículos eléctricos con batería. Las temperaturas más frías pueden ralentizar las reacciones químicas, lo que a su vez puede retrasar la carga, y en algunos vehículos, el control del clima utiliza directamente la energía de la batería. Dependiendo del diseño y la configuración del sistema de calefacción del autobús, el clima más frío también puede requerir energía adicional de la batería para calentar el interior del autobús, lo que afecta la autonomía de la batería. Antes de la actual implementación de los autobuses eléctricos, el ETS realizó una prueba con dos autobuses eléctricos de batería diferentes para determinar si podrían satisfacer las necesidades del área de servicio del ETS, especialmente en condiciones climáticas invernales. Según el informe del Estudio de Viabilidad publicado en 2016, los autobuses eléctricos de batería podrían desempeñarse de manera confiable como la flota de autobuses diésel con una planificación y capacitación adecuadas, señalando que la prueba tuvo lugar durante un invierno inusualmente cálido en Edmonton. No se observaron problemas relacionados con el uso de energía en temperaturas exteriores más frías, pero la prueba mostró que el uso de calentadores eléctricos podría disminuir la autonomía en un 15-25 por ciento.

Fuente: [ETS Electric Bus Feasibility Study](#), [Electric Buses: Edmonton is a Canadian Leader](#)

Para mas información:

- [Guidebook for Deploying Zero-Emissions Transit Buses](#), Transportation Cooperative Research Board
- [Zero-Emission Fleet Transition Plan – Element 6: Workforce Evaluation Tool](#), Federal Transit Administration

¿CÓMO DEBEN LAS AGENCIAS DE TRANSPORTE INVOLUCRAR A LAS PARTES INTERESADAS EN LA TRANSICIÓN A FLOTAS DE AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

Las agencias deberían crear un proceso colaborativo, efectivo y equitativo para planificar un sistema de transporte público utilizando autobuses de cero emisiones. Las partes interesadas, incluidas las comunidades que serán atendidas por el servicio, los fabricantes de vehículos y equipos, los servicios de emergencia y los empleados de la agencia de transporte, deberán participar en todo el proceso para aportar sus opiniones, experiencia técnica, experiencias de usuario y más.

Comunidad

- Antes de la implementación y durante el proceso de planificación, las agencias deben buscar oportunidades para medir la percepción pública sobre una posible flota de autobuses de cero emisiones, establecer plataformas de comunicación con las partes interesadas involucradas y abordar las preocupaciones a medida que surjan.
- Las agencias deben involucrar a la comunidad para recopilar comentarios sobre las necesidades de transporte y los beneficios y desafíos de diferentes tipos de autobuses y tecnologías de cero emisiones.
- Las agencias deben comunicarse de manera temprana y frecuente con las poblaciones que se espera que utilicen el transporte público para establecer expectativas sobre los cambios que traerán las flotas de autobuses de cero emisiones y cualquier interrupción de servicio relacionada.

Fabricantes de vehículos y equipos

- Las agencias deben trabajar con los fabricantes desde el principio para estimar los costos y los plazos de adquisición y confirmar que pueden satisfacer las necesidades previstas.
- Las agencias deben colaborar con representantes de los fabricantes para capacitación y supervisión durante la instalación y despliegue inicial para garantizar el funcionamiento y rendimiento óptimos de los vehículos.

Servicios de emergencia y primeros auxilios

- Las agencias deben coordinarse con los servicios de emergencia y los funcionarios de gestión de emergencias para incorporar la capacitación en seguridad y respuesta a emergencias.
- Las agencias deben establecer planes y procedimientos, en coordinación con los servicios de emergencia locales, para responder en caso de accidentes en la terminal o en la ruta.
- Se puede recurrir a representantes de la empresa de servicios públicos local o del fabricante de autobuses para capacitar al personal en seguridad de sistemas de alto voltaje cuando se utilizan autobuses eléctricos de batería y autobuses eléctricos con cable.

Personal de la agencia de transporte

- El personal de transporte debe trabajar con los operadores y planificadores para establecer condiciones climáticas básicas, condiciones de tráfico, hábitos de conducción y topografía de rutas para modelar diferentes tipos de autobuses y horarios de servicio.

- El personal que interactúa con los autobuses y equipos en la terminal o en la ruta debe recibir cierto grado de capacitación en la gestión de sistemas de carga de alto voltaje y en la respuesta a posibles incidentes de seguridad contra incendios.
- La implementación de autobuses de cero emisiones tendrá características operativas diferentes de los vehículos convencionalmente alimentados, y las agencias deben invertir en capacitaciones, talleres y otras oportunidades de desarrollo de capacidades para respaldar la implementación de tecnologías de vehículos de cero emisiones y mantener la resiliencia a medida que evolucionan las tecnologías.
- Para los autobuses eléctricos de batería, las agencias de transporte necesitarán gestionar el uso compartido de cargadores en ruta y mantener una comunicación constante con los operadores para determinar los cambios necesarios en los horarios para adaptarse a las limitaciones de alcance.

Estudio de caso: Comisión de Tránsito de Toronto (TTC) - Prueba de autobuses eléctricos

La Comisión de Tránsito de Toronto (TTC) brinda servicio a más de 600,000 pasajeros al día en más de 150 rutas de autobús, 9 rutas de tranvía, 3 líneas de metro y 1 línea de tránsito rápido. Como parte del Programa de Flota Verde de TTC, la agencia de transporte se ha comprometido a que el 50 por ciento de sus operaciones sean de cero emisiones para 2028-2032 y que el 100 por ciento lo sean para 2040.

Hasta la fecha, TTC ha desplegado 60 autobuses completamente eléctricos de tres fabricantes diferentes. TTC ha colaborado con el Consejo Nacional de Investigación de Canadá, Transport Canada y Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá para evaluar el rendimiento de esta implementación durante varios años de operaciones en servicio. Este estudio incluye la recopilación de datos de operaciones en uso, así como una evaluación de la confiabilidad, mantenibilidad y capacidad operativa de los autobuses eléctricos. Los informes resultantes detallarán los datos, métodos analíticos y hallazgos del rendimiento de los vehículos eléctricos a lo largo de diversas estaciones del año. La evaluación también incluyó tres conjuntos de pruebas comparativas en las que un autobús de cada fabricante se sometió a pruebas de manera controlada en rutas seleccionadas.



Hasta la fecha, la prueba ha permitido ahorrar 879,765 litros de combustible diesel, lo que equivale a una diferencia de más de \$200,000 en costos entre el combustible diesel y el costo de la carga eléctrica. TTC ha aprobado la adquisición de 300 autobuses más totalmente eléctricos, que serán entregados entre 2024 y 2026.

Fuentes: [TTC Green Initiatives](#), [TTC to Discuss Next Steps for Fleet Electrification at Upcoming Board Meeting](#), [TTC to Discuss Next Steps for Fleet Electrification at Upcoming Board Meeting](#)

Para más información:

- [Stakeholder Collaboration Models for Public Transport Procurement of Electric Bus Systems](#), International Journal of Sustainability Policy and Practice
- [Guidebook for Deploying Zero-Emission Vehicles](#), Transportation Cooperative Research Program

¿CÓMO PUEDES OBTENER LAS MAYORES VENTAJAS DE TU NUEVA FLOTA DE AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?

Existen varias cosas que las agencias de transporte pueden hacer para maximizar los beneficios de sus flotas de autobuses de cero emisiones. Estas incluyen:

- Inspecciones y pruebas
- Capacitación del personal
- Recopilación y monitoreo de datos

Inspecciones y Pruebas

Una vez que un organismo ha evaluado a fondo la viabilidad de instalar una flota de autobuses de emisiones cero para sus necesidades de transporte y ha adquirido el tipo de autobús y la tecnología que prefiere, debe someterlos a inspecciones y pruebas antes de ponerlos en funcionamiento. Estos son pasos especialmente cruciales para los vehículos que albergan tecnología más reciente. Algunos propietarios de flotas pueden contar con servicios internos de inspección, mientras que otros pueden contratar servicios de inspección de terceros. Las inspecciones deben ser exhaustivas para asegurar que la tecnología y los vehículos fueron fabricados correctamente y se ajustan al contexto en el que operarán. Las pruebas se deben realizar para determinar el rendimiento esperado frente al rendimiento real, las características de seguridad, el alcance, la maniobrabilidad, la potencia de la batería (si es eléctrica), la capacidad de pasajeros y la compatibilidad con los equipos de carga y combustible. Las pruebas en ruta también pueden ayudar a determinar cómo el rendimiento operativo del nuevo vehículo se alinea con las características del área de servicio. Si el autobús pasa por situaciones con una combinación de viajeros de diferentes edades y movilidads y rutas con diferentes alturas de aceras y pendientes, se pueden evaluar las posibles deficiencias en la facilidad de acceso para los diferentes tipos de pasajeros.

Capacitación del Personal

Los autobuses de cero emisiones y sus equipos de carga y combustible asociados incluirán elementos y funciones que serán desconocidos para su personal de operaciones, mantenimiento e instalaciones. Asegurar una capacitación adecuada para todo el personal que interactúa con los autobuses ayudará a garantizar operaciones eficientes, efectivas y seguras. Se deben proporcionar oportunidades educativas continuas para asegurarse de que el personal esté informado a medida que surjan y evolucionen las tecnologías de cero emisiones.

Recopilación y Monitoreo de Datos

La recopilación y el monitoreo de datos pueden ayudar a las agencias a evaluar el rendimiento de la flota de autobuses de cero emisiones. También se pueden utilizar métricas de rendimiento para aprovechar oportunidades de financiamiento local o regional para vehículos alternativos. Las agencias deben establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar los costos y beneficios de operar una nueva flota de autobuses de cero emisiones. Algunos KPI relevantes para los autobuses de cero emisiones son:

- Costo de combustible por distancia recorrida

- Economía/desempeño energético
- Pasajeros transportados (comparación entre la flota existente y la flota de cero emisiones)
- Costos del ciclo de vida
- Reducción de emisiones
- Disponibilidad y utilización
- Estado de salud de la batería (para autobuses de cero emisiones con baterías)
- Tiempo de inactividad/disponibilidad para autobuses e infraestructura

Estrategias de Acción para el Estudio de Caso

Implementación de Autobuses Eléctricos a Gran Escala en Santiago, Chile

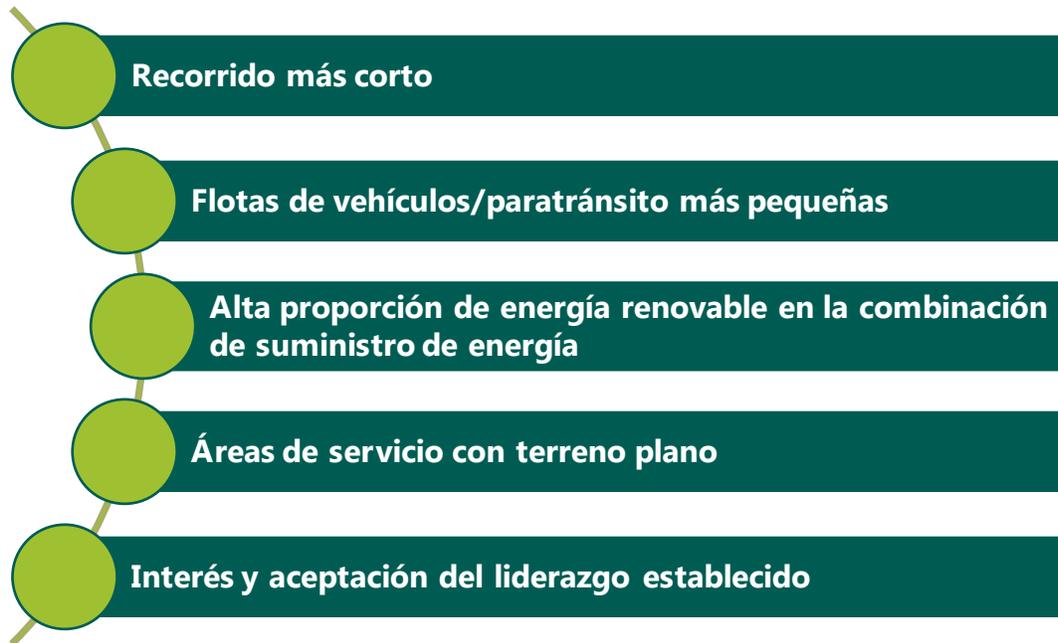
En Santiago, Chile, el sistema de transporte público está reemplazando su flota actual de autobuses por vehículos de cero emisiones. Santiago alberga el sistema de autobuses más grande fuera de China y es una de las ciudades más pobladas de América del Sur. El país ha establecido una estrategia nacional de electromovilidad para guiar la eliminación gradual de todos los vehículos impulsados por combustibles fósiles para el año 2045, incluido el objetivo de cambiar todos los vehículos de transporte público a modelos eléctricos para el año 2040. Actualmente, el sistema de la ciudad cuenta con 776 autobuses eléctricos en funcionamiento en Santiago, con el objetivo a largo plazo de tener un total de 17,000 autobuses eléctricos para el año 2035. Este proyecto se ha convertido en la mayor conversión de flota a vehículos de cero emisiones en América Latina.

El proyecto fue un esfuerzo conjunto entre el operador privado de la flota de autobuses (Metbus), RED, la agencia de transporte público para la Región Metropolitana de Santiago, el Ministerio de Transportes de Chile, un contratista privado y propietario de la infraestructura de carga y autobuses, el fabricante de autobuses y la agencia financiera que gestiona la recaudación de tarifas y los pagos a los operadores. La separación de la propiedad y la operación de los autobuses permitió al gobierno gestionar de la mejor manera los costos de adquirir los autobuses por adelantado y administrar las necesidades operativas de una implementación de autobuses eléctricos a gran escala. Para implementar una flota masiva de autobuses de cero emisiones, los gobiernos y sus socios adoptaron un enfoque gradual a partir de 2017:

- En 2017, el proyecto puso en marcha un proyecto piloto de un año de duración con dos autobuses eléctricos estándar.
- De 2018 a 2020, adquirieron 433 autobuses eléctricos estándar.
- En 2019, llevaron a cabo un programa piloto de dos meses con un autobús eléctrico articulado.

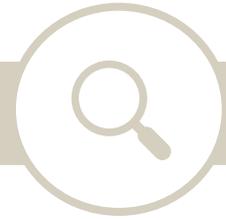
Después del piloto y establecer un perfil operativo para la flota a gran escala, los operadores concluyeron que no se necesitaban cambios en las rutas para adaptarse a las necesidades de carga de los autobuses. Todos los autobuses se cargan completamente durante la noche en uno de los 218 cargadores en la terminal. Además, todas las rutas de autobuses pasan por la Avenida Grecia, que es un conjunto de cinco terminales de autobuses eléctricos al 100 por ciento para realizar cargas parciales durante el día.

¿ES SU SISTEMA DE TRANSPORTE APTO PARA AUTOBUSES DE CERO EMISIONES?



Para mas información:

- [Guidebook for Deploying Zero-Emission Transit Buses](#), Transit Cooperative Research Program
- [Can Chile Ditch Combustion Buses and Cars by 2035?](#), [Diálogo Chino](#)
- [Estrategia Nacional de Electro-Movilidad](#), [Gobierno de Chile](#)
- [Metbus Pioneering E-Bus Deployments in Santiago](#), [C40 Knowledge Hub](#)
- [From Pilots to Scale: Lessons from Electric Bus Deployments in Santiago de Chile](#), [Center for Mathematical Modeling - University of Chile](#)
- [Latin America Clean Bus in LAC Lessons from Chile's Experience with E-Mobility](#), [The World Bank](#)
- [ZEBRA \(2020\) Santiago Metbus E-Bus Deployments Case Study](#), [C40 Knowledge Hub](#)



Dióxido de carbono (CO₂): Un gas que se produce de forma natural y que también es un subproducto de la quema de combustibles fósiles (como petróleo, gas y carbón), de la quema de biomasa, de los cambios en el uso del suelo y de procesos industriales (por ejemplo, producción de cemento). Es el principal gas de efecto invernadero (GEI) antropogénico que afecta el equilibrio radiativo de la Tierra. Es el gas de referencia con el que se miden otros GEI y, por lo tanto, tiene un potencial de calentamiento global (PCG) de 1. Consultar también gases de efecto invernadero (GEI).

Cambio climático: El cambio climático se refiere a una modificación en el estado del clima que puede ser identificada (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, típicamente décadas o más. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo. Es importante tener en cuenta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, define el cambio climático como: "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada en períodos de tiempo comparables". De esta manera, la CMNUCC hace una distinción entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Taller: Instalación de mantenimiento donde los mecánicos y el personal del departamento de mantenimiento realizan inspecciones básicas de preparación (por ejemplo, presión de los neumáticos, niveles de aceite/líquidos, etc.) y reparaciones ligeras (por ejemplo, reemplazo de espejos) o servicios (por ejemplo, limpieza) en los vehículos de ingresos. Los vehículos de ingresos pueden almacenarse aquí durante la noche o entre períodos de servicio en los que están en uso.

Combustibles fósiles: Combustibles a base de carbono derivados de depósitos fósiles de hidrocarburos, incluyendo carbón, petróleo y gas natural.

Calentamiento global: El aumento estimado de la temperatura media de la superficie global (GMST) promediado durante un período de 30 años, o el período de 30 años

centrado en un año o década en particular, expresado en relación con los niveles preindustriales a menos que se especifique lo contrario. Para períodos de 30 años que abarcan años pasados y futuros, se supone que la tendencia actual de calentamiento multidecadal continuará.

Gases de efecto invernadero (GEI): Los gases de efecto invernadero son aquellos constituyentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera misma y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) son los principales GEI en la atmósfera de la Tierra. Además, existen varios GEI creados totalmente por el ser humano en la atmósfera, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromo, que se tratan bajo el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, el N₂O y el CH₄, el Protocolo de Kyoto aborda los GEI hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC).

Hidrógeno: El hidrógeno es un combustible limpio que, cuando se consume en una celda de combustible, produce solo agua. El hidrógeno puede producirse a partir de una variedad de recursos nacionales, como el gas natural, la energía nuclear, la biomasa y las energías renovables como la solar y la eólica. Estas cualidades lo convierten en una opción de combustible atractiva para el transporte y la generación de electricidad. Puede utilizarse en automóviles, en hogares, para energía portátil y en muchas otras aplicaciones.

Impactos (consecuencias, resultados): Las consecuencias de los riesgos materializados en los sistemas naturales y humanos, donde los riesgos resultan de las interacciones de peligros relacionados con el clima (incluidos eventos climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos en vidas, medios de vida, salud y bienestar, ecosistemas y especies, activos económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos); y la infraestructura. Los impactos pueden denominarse consecuencias o resultados, y pueden ser adversos o beneficiosos.

Infraestructura: Incluye, como mínimo, las estructuras, instalaciones y equipos para, en los Estados Unidos, carreteras, autopistas y puentes; transporte público; represas, puertos, puertos y otras instalaciones marítimas; ferrocarriles de pasajeros y carga entre ciudades; instalaciones de carga e intermodales; aeropuertos; sistemas de agua, incluidos sistemas de agua potable y aguas residuales; instalaciones y sistemas de transmisión eléctrica; servicios públicos; infraestructura de banda ancha; y edificios y bienes inmuebles. La infraestructura incluye instalaciones que generan, transportan y distribuyen energía.

Ciclo de vida: Evolución de un sistema, producto, servicio, proyecto u otra entidad creada por el ser humano desde su concepción hasta su retiro.

Material particulado (MP): Una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como polvo, suciedad, hollín o humo, son lo suficientemente grandes u oscuras como para ser visibles a simple vista. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse con un microscopio electrónico. Las partículas tienen muchos tamaños y formas y pueden estar compuestas por cientos de sustancias químicas diferentes. El material particulado contiene sólidos microscópicos o gotas líquidas tan pequeñas que pueden inhalarse y causar graves problemas de salud.

Resiliencia: La capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para hacer frente a un evento peligroso o una tendencia o perturbación, respondiendo o reorganizándose de manera que mantengan su función esencial, identidad y estructura, al mismo tiempo que conservan la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación. Esta definición se basa en la definición utilizada por el Consejo del Ártico (2013).

Transporte Público: Transporte mediante un medio de transporte que proporciona transporte regular y continuo, ya sea general o especial, al público.

Sector Transporte: Un sector que comprende todos los vehículos cuyo propósito principal es transportar personas y/o bienes de una ubicación física a otra.

Cero Emisiones: Un vehículo que no produce contaminantes en el escape, contaminantes tóxicos del aire ni emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN



Tómate un tiempo para reflexionar sobre el transporte y la infraestructura en tu país, y cómo podrían apoyar mejor una flota de autobuses de cero emisiones. Considera las siguientes preguntas:

- **¿Apoya la dirección de tu organización la transición hacia una flota de autobuses de cero emisiones?**
- **¿Qué fuentes de financiamiento están disponibles para la adquisición e implementación de una flota de autobuses de cero emisiones?**
- **¿Cómo adquiere actualmente la flota de vehículos el sector de transporte en tu comunidad?**
 - ¿Con qué frecuencia retira y sustituye autobuses tu comunidad en la actualidad?
- **¿Cuántos autobuses cambiaría tu comunidad a cero emisiones?**
- **¿Cuál es el tamaño más común de autobús de transporte público en tu comunidad?**
- **¿Qué tamaño de autobús se adaptaría mejor a las rutas comunes, las condiciones y la capacidad de pasajeros?**
- **¿Qué autonomía de vehículo se adaptaría mejor a las rutas comunes, las condiciones y la capacidad de pasajeros de tus operaciones de transporte?**
- **¿Qué infraestructura adicional sería necesaria para permitir los autobuses de cero emisiones?**
- **¿Qué cambios de infraestructura se deben realizar para facilitar la transición de la flota de autobuses actual y permitir una futura expansión?**
- **¿Qué mejoras en la red eléctrica podrían ser necesarias?**
 - ¿Qué condiciones prevalecen en tu país que podrían influir en la ubicación de la infraestructura de carga y el equipo complementario en lugares seguros y confiables (por ejemplo, peligros climáticos, áreas de alto tráfico, poblaciones de vida silvestre, etc.)?
- **¿Cómo fijan el precio de la electricidad las principales empresas de servicios públicos eléctricos y cómo afectaría eso a los horarios de carga de los vehículos?**
- **¿Cómo se integra el desarrollo de la fuerza laboral en el sistema de transporte existente?**
 - ¿Existe capacidad de desarrollo de la fuerza laboral para apoyar la formación y el desarrollo de habilidades asociadas con los autobuses de cero emisiones?
 - ¿Cómo planea abordar esos desafíos tu gobierno?

 For more information about Zero Emission Buses, or to learn more about partnering with Momentum, please contact us at momentum@dot.gov.