



Infraestructura de recarga para buses cero emisiones — Estrategias de Bogotá, Colombia



SOCIO DE APOYO



AGENCIA DE FINANCIACIÓN



SOCIOS IMPLEMENTADORES





Autores: Samantha Pettigrew, Helmer Acevedo y Oscar Delgado

Este caso de estudio es parte de una trilogía de análisis sobre la estrategia de Bogotá como ciudad mentora TUMI, basada en explorar el tema de los buses eléctricos en los siguientes temas: ascenso tecnológico (con los detalles de las pruebas piloto, ciclos y rutas); modelos de negocio (con la presentación de las innovaciones generales implementadas para la gobernanza de adquisición de buses eléctricos); infraestructura de recarga (el presente documento, con el que se presenta cómo se logró suministrar infraestructura y energía de recarga, considerando temas técnicos y regulatorios).

ZEBRA: The ZEBRA (Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator) partnership works to accelerate the deployment of zero emission buses in Latin American cities, with the final aim to achieve climate goals, improve urban air quality, and the overall standard of public transport. ZEBRA is a ClimateWorks Foundation funded partnership led by the ICCT and C40 Cities, and supported by CMM-Chile and WRI.

TUMI E-Bus Mission: The TUMI (Transformative Urban Mobility Initiative) E-Bus Mission supports cities in their transition towards electric bus deployment. We work closely with 20 deep-dive cities in Africa, Asia and Latin America (LATAM). National and regional core groups work to upscale our efforts in a network which will include over 100 cities spread across the globe by 2022. By 2025, the TUMI E-Bus Mission will inspire and equip cities to procure more than 100,000 e-buses, resulting in a reduction of more than 15 megatons of CO₂ emissions.





TABLA DE CONTENIDO

Introducción: Contexto cero emisiones en Bogotá.....	2
El caso: Aspectos técnicos de la flota y su infraestructura.....	4
Conclusión	13

INTRODUCCIÓN: CONTEXTO CERO EMISIONES EN BOGOTÁ

En 2021, Colombia pasó a ser el segundo mercado con más buses eléctricos en el mundo y para septiembre de 2022 superó los 1589 buses eléctricos.¹ Después de China, que tiene más de 500 000 buses eléctricos, y junto con Chile, que tendrá un estimado 1170 en 2023, Colombia es un líder de metas y acciones hacia la descarbonización del transporte público. Siendo la ciudad de Bogotá D.C. el punto focal de estos avances. Como ciudad mentora de la *TUMI E-Bus Mission*, se busca compartir sus lecciones de éxito a otras ciudades y países en América Latina y el mundo.

Gracias a la matriz energética colombiana, que ofrece un alto porcentaje de energía hidráulica, el cual suple la infraestructura suficiente para soportar el aumento en demanda de los vehículos cero emisiones,² Colombia cuenta con varias políticas a nivel nacional para la electromovilidad. Su enfoque principal es impulsar el proceso del país hacia la descarbonización. Por ello, se ha ayudado a que el país tenga el número más grande de buses eléctricos en la región de América Latina. Un logro que ha sido difícil obtener al lado de Chile.

En Colombia, gracias a las políticas públicas, existen requisitos de una compra mínima del 30 % de vehículos eléctricos en la flota del transporte público para el año 2025.³ Según los requerimientos impuestos por el gobierno nacional para ciudades grandes, se requiere un mínimo de compra de buses eléctricos, comenzando en 2025 con un 10 % y aumentando progresivamente hasta alcanzar el 100 % en 2035.

Específicamente en Bogotá, el gobierno local ha ido más allá y ha establecido que no permitirá (solo en casos excepcionales, hasta 2024) nuevos buses de combustión interna a partir del año 2022.⁴ Para lograrlo, habrá que tener listos los modelos de negocio, las tipologías vehiculares y la infraestructura de

1 "Electric bus, main fleets and projects around the world," *Sustainable Bus*, 16 enero 2023, <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/electric-bus-public-transport-main-fleets-projects-around-world/>; E-bus radar, consultado el 13 de marzo 2023, <https://www.ebusradar.org/>.

2 Ernst & Young, *Mapa de ruta para la transición hacia vehículos de bajas y cero emisiones*, Bogotá: Upme, 2017, <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1160>.

3 Ley 1964, El Congreso de Colombia, 11 julio 2019, <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201964%20DEL%2011%20DE%20JULIO%20DE%202019.pdf>.

4 La meta oficial por ley es para 2035, sin embargo, TransMilenio decidió adelantar su compromiso a 2022: Carlos Bueno y Oscar Delgado, "Buses cero emisiones en Bogotá a partir de 2022 – Liderazgo político para liderar la transición," *International Council on Clean Transportation*, 9 marzo 2021, <https://theicct.org/buses-cero-emisiones-en-bogota-a-partir-de-2022-liderazgo-politico-para-acelerar-la-transicion/>.

recarga necesarias para la utilización de buses eléctricos que reemplacen los buses a combustión, tanto a diésel como a gas.⁵

El escenario de estos cambios es el sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) TransMilenio, gestionado por la empresa TransMilenio S.A., en el ámbito del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá. TransMilenio ha trabajado para garantizar, entre otros objetivos, que los vehículos utilizados para la prestación del servicio incorporen una tecnología moderna, con un foco especial en bajar las emisiones y, así, el impacto ambiental del transporte en la región.⁶ A finales de septiembre de 2022, el transporte público masivo de Bogotá contaba con 1485 buses eléctricos en su flota, casi 94 % de la cifra nacional, los cuales fueron incorporados progresivamente, teniendo en cuenta la desvinculación de los buses diésel que circulaban en las diferentes zonas de operación de la ciudad.⁷

Considerando este contexto, el presente caso de estudio tiene como objetivos comprender cómo llegó Bogotá a alcanzar estas metas y cómo TransMilenio logró obtener la infraestructura de recarga necesaria para hacerlo. Para ello, este documento resume el estado de la infraestructura de recarga para los buses eléctricos en Bogotá y presenta algunas de las lecciones aprendidas del caso del sistema TransMilenio. Se hace un enfoque en dos temas principales: de cómo el sector privado llegó a asumir todos los costos de infraestructura y cómo se han superado las dificultades regulatorias que se presentan en Colombia.

5 Acuerdo 790 de 2020 Concejo de Bogotá, D.C., Alcaldía de Bogotá, 13 diciembre 2020, <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=103745&dt=S>.

6 TransMilenio S.A., <https://www.transmilenio.gov.co/>.

7 E-bus radar, <https://www.ebusradar.org/>.

EL CASO: ASPECTOS TÉCNICOS DE LA FLOTA Y SU INFRAESTRUCTURA

Dentro de la flota de TransMilenio, de más de 9400 buses en total, la empresa cuenta con buses que tienen varios tipos de capacidades. Van desde 50 hasta 260 pasajeros. Las diferentes tipologías incluyen buses biarticulados de 27 m para 260 pasajeros; articulados de 18 m para 160 pasajeros; padrones de 12 m para 80 pasajeros; y busetones de 9-10 m para 50 pasajeros. Para cada tipo de bus, se ocupan distintas formas de recarga, con todas las opciones posibles mostradas en la tabla 1. De los 10 tipos de buses permitidos en la regulación colombiana, TransMilenio utiliza solamente cuatro para el transporte público en Bogotá. Y de ese número, solo un tipo de bus utilizado por TransMilenio es cero emisiones (eléctricos a batería). Los buses de hidrógeno aún se encuentran en periodo de prueba, mediante el piloto de un bus. Para evitar confusiones sobre las tecnologías de bajas emisiones, se necesitan restringir las tecnologías hacia los buses eléctricos de cero emisiones.

Tabla 1. Tipos de energía utilizados y aprobados para uso en buses de transporte público a través de regulación colombiana de 2022

Tipos de energía	Existencia
Diésel	✓
Gas Natural	✓
Híbrido	✓
Híbrido paralelo	
Híbrido <i>plug-in</i> y/o con carga de oportunidad	
Eléctrico a batería*	✓
Eléctrico <i>plug-in</i> y/o con carga de oportunidad	
Eléctrico con carga por inducción	
Trolebús	
Hidrógeno	

✓ Buses que se encuentran en circulación en la vía pública por TransMilenio en Bogotá, Colombia a la fecha de 2022.

Para la construcción de la infraestructura del sistema, TransMilenio define los parámetros operacionales, a partir de los cuales el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) ejecuta los estudios, diseños y contratación de la construcción de la infraestructura para efectuar la operación. Los parámetros operacionales de las necesidades de demanda a atender permiten definir las tipologías de la flota a utilizar.

En términos de infraestructura eléctrica, hay requisitos y complejidades distintas para cada tipo de bus. El trolebús, por ejemplo, requiere infraestructura a lo largo de la vía. Para los buses eléctricos a batería y de hidrógeno, solo se requiere infraestructura en patios, igual que los buses tradicionales a diésel y gas natural vehicular. Otra opción para los buses eléctricos es utilizar estaciones de recarga rápida en la vía, denominadas carga de oportunidad. Para los híbridos y eléctricos *plug-in* y/o con carga de oportunidad (o carga pantógrafo, con el cargador acoplado al bus o a la infraestructura de carga que se encuentra ubicada a lo largo de su recorrido), y los eléctricos con carga por inducción, se requiere infraestructura en patios, portales, y/o estaciones, dependiendo del tipo de configuración y autonomía. En cualquier planeación de rutas de buses eléctricos, es importante confirmar que el vehículo sea compatible con las condiciones de ruta y los requisitos de operación. Esto se puede hacer a través de estudios de rutas y pilotos.

Tabla 2. Características de distintos tipos de recarga para los buses eléctricos⁸

Tipo de recarga	Potencia	Costo (USD)	Dónde se recarga
Carga en depósito (Sistema de recarga fija en patios)	120-240 kW	\$5000-25 000 por unidad	Patios
Carga de oportunidad (Sistema de recarga por oportunidad)	300-500 kW	\$120 000-150 000 por unidad	Estaciones pantógrafos o inductivos en la ruta
Carga dinámica (Sistema de recarga dinámica)	> 600 kW	\$260 000 por km de catenaria	Continuamente en la vía

Algunas de las especificaciones de infraestructura de soporte, también conocida como “patios de alistamiento”, incluyen áreas de mantenimiento, parqueo, suministro energético y áreas administrativas, entre otras. Es importante diferenciar entre infraestructura de soporte y de recarga eléctrica. El soporte, que también es conocido como infraestructura de recarga en el sector (pero no siempre usado así en este reporte), implica también las áreas administrativas y de mantenimiento, entre otros servicios más generales necesarios para prestar un servicio comprensivo de transporte público a través de buses.

A septiembre de 2022, TransMilenio contó con 1485 buses eléctricos en Bogotá. De los 58 patios del sistema, nueve son de recarga eléctrica. Estos buses se cargan siempre en el patio y los sistemas de recarga cuentan con las características descritas en la tabla 3. Como parte del proyecto, se hicieron

⁸ TransMilenio S.A., *Análisis del sector de tecnologías de cero o bajas emisiones* (Bogotá: TransMilenio S.A., 2020), <https://www.transmilenio.gov.co/loader.php?!Servicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=53153>.

estudios en otras ciudades y se adoptaron algunas de las buenas prácticas de ellas, por ejemplo, se utiliza recarga lenta, igual que en Cali y Medellín en Colombia, y que en Santiago de Chile.

La ficha técnica del cargador para los buses eléctricos debe mostrar cumplimiento de la norma internacional en fabricación, potencia, voltaje, corriente nominal, frecuencia de funcionamiento, índice de protección, nivel de aislamiento, número de mangueras (o dispensadores), tipo de conector, longitud de las mangueras, sistema de suministro de recarga (AC-DC) y cualquier otra característica relevante. Algunas de las especificaciones más importantes se mencionan abajo en la tabla 3.

Tabla 3. Características de un bus eléctrico de 12 metros de TransMilenio en Bogotá⁹

Marca	BYD, Yutong (China)
Potencia de salida MW)	300 kW (dos motores de 150 kW cada uno)
Número de cargadores y capacidad (kW)	150 kW, 2 mangueras a la vez, cargador entre los 2 buses, cada bus recibe 75 kW
Buses: Rango Estimado de Autonomía (km)	350 km
Buses: Baterías (tipo y capacidad en kWh)	Batería LiFePO4 (Litio-Hierro-Fosfato) 350 kWh
Tipo de conectores	GB/T o CCS
Tiempo de recarga	Demora un promedio de 2 h para la recarga completa de la mayoría de los buses con baterías nuevas, hasta 4 horas para una batería de 5 años (al final del contrato)
Carga inteligente y otras informaciones	El concesionario de provisión es responsable por el recambio de la batería después de 7 años y para garantizar el ciclo de vida útil del producto Debe haber un 75-80 % de degradación de la batería antes de cambiarla

EL SECTOR PRIVADO

En comparación a los buses tradicionales a diésel, para los buses eléctricos es necesario un nuevo modelo de negocios, debido a que se requiere contar con los costos iniciales de los buses y de su infraestructura de recarga, junto con el costo total de propiedad por el ciclo de vida de un bus eléctrico, que es menor que el de un diésel.

Un reto importante para esta situación es contar, desde el inicio, con un diseño adecuado de la infraestructura de recarga. Es necesario que sea robusta para soportar la operación completa. Esto incluye, por ejemplo, inversiones en nuevas redes eléctricas y permisos especiales. Para la operación de los buses

⁹ TransMilenio S.A., *Análisis del sector*.

eléctricos, una estructura organizacional requiere, en adición al supervisor de flota y director financiero y administrativo, un coordinador de mantenimiento de infraestructura eléctrica. En la tabla 4 a continuación, se muestran los distintos cargos necesarios para este tipo de proyecto.

Tabla 4. Cargos necesarios en la estructura organizacional de un sistema de recarga

Categoría de concesionario	Tipo de concesionario	Cargo
Concesionario de provisión	Concesionarios de provisión de infraestructura eléctrica.	Hacen posible el uso de la red eléctrica.
	Concesionarios de provisión de infraestructura de soporte a la operación.	Son responsables por los patios y otros equipamientos de infraestructura que utilizan la red eléctrica.
	Concesionarios de provisión de flota.	Son responsables por los buses.
Concesionario de operación	Operadores	Manejan la operación diaria de los buses y su infraestructura. El operador no es propietario de la flota, pero tiene control total sobre la flota y de su infraestructura, con fines de desarrollar el servicio con éxito.

El sector privado financia parte de los costos de la infraestructura (ej., subestación eléctrica, red eléctrica, cargadores) a cambio de una retribución mensual, ya sea bajo la figura de arrendamiento o vía remuneración asociada a patios. Por otro lado, los costos de energía eléctrica son asumidos por el concesionario de operación, acorde a su consumo periódico.

En el caso de Bogotá, en la primera etapa (2022) se involucraron tres actores principales: 1) un concesionario de provisión suministró la flota; 2) el concesionario de operación de la flota; y 3) uno tercero suministró los patios. Sin embargo, el acuerdo no fue conveniente económicamente para TransMilenio debido a los altos costos y la larga duración de los contratos.

Después de la finalización de la primera etapa, donde se introdujeron 497 buses eléctricos en cuatro patios eléctricos, se tomó la decisión de reconfigurar el modelo y proyectarlo en una tercera etapa (se hace referencia a una tercera porque en la previa se utilizaron buses de combustión interna, por lo que estuvo fuera de los alcances de este tipo de estudios).

En esta tercera etapa, el proceso licitatorio involucró la elección de un proveedor en la que se tomaran en cuenta los aprendizajes de la primera y la experiencia en la operación. También se utilizaron ejemplos de infraestructura de recarga de Londres, Inglaterra, entre otros. En esta etapa, se tomó la decisión de utilizar otro modelo de negocio distinto al primero, uno que no

requiriera involucrar a un tercero. Entonces, la decisión fue fusionar a los proveedores de provisión y operación, por un proveedor conjunto que hace los dos roles, para que fluyera mejor el proceso, sin tantos actores involucrados. Derivado de esta etapa se obtuvieron 1002 buses eléctricos y cinco patios eléctricos agregados a la flota.

En las dos etapas, TransMilenio tuvo que otorgar la concesión para administrar la infraestructura de los patios eligiendo a los proveedores por asignación directa. En la propuesta, el concesionario de operación es el obligado a suministrar la infraestructura de soporte o patio de operación para la misma y para el mantenimiento de la flota. En la tabla 5 se muestran las dos opciones de provisión de buses eléctricos.

Tabla 5. Diferencias entre las distintas etapas de provisión de buses eléctricos en Bogotá

	Etap 1	Etap 3
Tipo de provisión	Provisión no acoplada con suministro de infraestructura de soporte	Provisión acoplada con operación
Descripción de las acciones de los concesionarios de provisión	Concesionario de provisión de flota: <ul style="list-style-type: none"> • Proveer los vehículos a SITP Un tercer actor: <ul style="list-style-type: none"> • Suministrar infraestructura, incluyendo el mantenimiento de recarga 	Concesionario de provisión: <ul style="list-style-type: none"> • Proveer los vehículos a SITP • Suministrar infraestructura, incluyendo el mantenimiento de recarga
Descripción de las acciones de los concesionarios de operación	Concesionario de operación con un contrato directo, con la operación e infraestructura contratados juntos para: <ul style="list-style-type: none"> • Operar la flota • Mantener la flota • Gestionar, operar, mantener, y administrar la infraestructura 	Concesionario de operación con dos contratos de concesión: <ul style="list-style-type: none"> • Contrato 1: Operar y mantener la flota • Contrato 2: Gestionar, operar, mantener, y administrar la infraestructura
Otros puntos de atención importantes	<ul style="list-style-type: none"> • Contratación directa de la empresa Condensa a través de proceso licitatorio • Un tercero de operación y de provisión • Debido a las dificultades de financiamiento de los bancos, un contrato de arriendo fue necesario (pero más costoso a largo plazo) • El contrato obligó al proveedor de buses a suministrar la infraestructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Un flujo de caja que se puede administrar mediante una tarifa • Remuneración de arrendamiento, un costo para el alquiler dentro de la tarifa • Lección aprendida de Etapa 1: no utilizar contratos de arriendo (hacerlo directamente con TransMilenio)

CONTEXTO REGULATORIO

La segunda pregunta principal de este estudio es ¿cómo se han superado las dificultades regulatorias que se encuentran en Colombia? En Colombia, se encuentran desafíos de desarrollo de infraestructura, debido al contexto regulatorio del país.

En cualquier proyecto de levantamiento de buses eléctricos, el proveedor de infraestructura eléctrica generalmente puede ayudar a determinar a corto plazo los sitios viables y las tarifas asociadas para cada sitio. Mientras los planes de electrificación a largo plazo son necesarios para garantizar la capacidad de la red para respaldar la recarga.¹⁰ Un estudio de tránsito es necesario en las primeras etapas del trabajo, para saber cómo las condiciones del transporte (en términos de congestión vehicular) antes y después del proyecto. Limitaciones por el uso del suelo, ambientales y ubicación del patio, también son relevantes, pero sería lo mismo para cualquier tipo de bus, sin importar si es eléctrico o de combustión interna. Por lo tanto, en el diseño de un patio eléctrico hay que evaluar las necesidades energéticas para seleccionar las rutas, seguido por un piloto antes de escalar. Esto ayuda a contestar preguntas como qué tipo de recarga se debe utilizar (recarga en el depósito o recarga de oportunidad) y cuántas estaciones de recarga son necesarias (junto con la información de los modelos y niveles de potencia de cada cargador). Es clave aprovechar los aprendizajes de empresas como TransMilenio, que ya han podido responder a dichas preguntas y muestran mejor cómo hacerlo.

Primero, para lograr un suministro energético, se debe pasar por cuatro etapas: planificación, diseño, construcción e implementación. El requisito más importante en este proceso (por ser nuevo en términos de su utilización para el transporte) fue el cumplimiento con la norma NTC 2050, el código eléctrico colombiano. Una lista de las leyes y regulaciones relevantes para los buses eléctricos se encuentra en la tabla 6.

¹⁰ MacDougall, Pamela. "4 main takeaways from America's top transit agencies on electrifying buses." *Energy Exchange* (blog). *Environmental Defense Fund*. July 28, 2022. <https://blogs.edf.org/energyexchange/2022/07/28/4-main-takeaways-from-americas-top-transit-agencies-on-electrifying-buses/>.

Tabla 6. Regulaciones relevantes para la obtención de los buses eléctricos en Bogotá

Regulación	Aspectos importantes
Ley 1819 de 2016	Se adopta una reforma tributaria estructural, determinando el impuesto para productos y servicios
Ley 1964 de 2019	Introduce incentivos para los dueños de vehículos eléctricos; se establecen metas de construcción de infraestructura de recarga y faculta a los municipios a establecer asociaciones público-privadas para impulsar dicha construcción
Ley 1972 de 2019	Se requiere la adopción de estándares Euro VI a partir de 2023
Ley 2128 de 2021	Promueve el gas-combustible en el país
Ley 2169 de 2021	Se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país, mediante el establecimiento de metas mínimas en materia de carbono-neutralidad y resiliencia climática
Norma Técnica Colombiana 4901-1, 4901-2, y 4901-3 de 2009	Una serie de regulaciones que rigen los requisitos técnicos mínimos de seguridad y comodidad para vehículos de transporte urbano masivo de pasajeros Parte 1: Autobuses articulados Parte 2: Métodos de ensayo Parte 3: Autobuses convencionales
Norma Técnica Colombiana 2050 de 1998	Código eléctrico colombiano, un reglamento que busca proteger a las personas y los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad
Norma Técnica Colombiana 5296 de 2004	Sobre el uso de materiales pirotécnicos que pueden ser utilizados cercanos al público
Norma Técnica Colombiana 5701 de 2009	Sobre los vehículos para el transporte masivo de pasajeros

La ventaja del pionero es un concepto relevante para este estudio. Este es la capacidad de desempeñarse mejor que sus competidores como resultado de ser el primero en comercializar una nueva categoría de productos, como los buses eléctricos. Por falta de experiencia (por ser el primero), también es probable que se vea una falta de apoyo normativo y de infraestructura, e incertidumbres financieras. Las políticas nacionales de Colombia, por ejemplo, eximieron el impuesto al valor agregado y el impuesto a la importación en los buses eléctricos,¹¹ pero los operadores que compraron dichos buses tuvieron que pasar por un largo papeleo para obtener los reembolsos, una ineficiencia que no se descubrió hasta que el primer operador tomó la decisión de comprar y poner a prueba buses de cero emisiones.¹²

Los operadores posteriores al pionero disfrutaron de una política optimizada que el pionero ayudó a solucionar. Aquí, se creó un incentivo perverso, que se refiere a un incentivo que tiene una consecuencia no deseada, el cual es

¹¹ Ley 1819 de 2016, El Congreso de Colombia, 29 diciembre 2016, <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79140>.

¹² Yihao Xie y Leticia Pineda, *Module 5: Pilot and Demonstration Projects in the Urban Bus Fleet Technology Transition*. YouTube. YouTube, 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=pDZou2TrQxE>.


que algunos operadores que podrían ser menos propensos a tomar un riesgo esperan a que otros tomen la iniciativa en su lugar. En nuestro contexto, podría significar que las políticas destinadas a acelerar y fomentar la adopción de buses eléctricos, por el contrario, retrasan los despliegues de los operadores. Pero ser el pionero también tiene sus ventajas, especialmente en ciudades, regiones y países donde aumenta la presión para que los operadores renueven su flota para cumplir con estándares más estrictos de emisiones o, incluso, lograr cero emisiones. Los principiantes también serán los que descubran oportunidades para agilizar los procesos y este conocimiento puede convertirse en un servicio comercial que luego se puede vender a otros operadores en el futuro.¹³

Por otro lado, es necesario hacer una medición de impacto para la infraestructura eléctrica (o la matriz), para asegurar un suministro suficiente para la localidad donde se ubica la estación de recarga, junto con los negocios y residencias a su alrededor. Por ahora, no hay limitaciones generales, a parte de esta medición de impacto, para el uso del suministro eléctrico. Se garantiza que los operadores cuenten con energía en sus redes provista por sus distribuidores y Colombia se encuentra en una buena posición por su generación de energía hidráulica, entre otros renovables. Por ahora, el mayor requisito energético es realizar el periodo de recarga (2-3 h) durante la noche), y por ello, es necesaria la disponibilidad de una subestación eléctrica cercana para proveer la energía.

La falta de patios definitivos para el uso de buses eléctricos produce impactos negativos ambientales, urbanísticos y de movilidad que afectan a los residentes aledaños. Para reducir estos efectos en Bogotá, se requieren Planes de Ordenamiento Territorial (POT) a través de un proceso de planificación concertada para aprobar dichos patios.¹⁴ En el pasado, los operadores han tenido problemas para conseguir permisos para los patios, por sus grandes áreas, costos y poco suelo en desarrollo con que cuenta la ciudad. Además, para conseguir estos permisos, puede que haya problema, porque el diésel y el gas son regulados con beneficios tributarios, pero la energía eléctrica no ha tenido este mismo beneficio.

¹³ Xie y Pineda, Soot-free and zero-emission urban bus fleets technology transition curriculum.

¹⁴ Ley 388 de 1997, Congreso de Colombia, 18 julio 1997, <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3339>.



Las flotas eléctricas cargan durante sus ventanas de mantenimiento, principalmente en horas de la madrugada, donde el consumo y valor son menores. Esto también tiene un beneficio normativo, porque al ser parte del mercado no regulado, es posible comprar energía por subasta a través de su distribuidor o comercializador. El precio es una barrera importante que se necesitó abordar en las políticas públicas para que fuera factible la utilización de buses eléctricos. Por ejemplo, es recomendable definir requerimientos de la autonomía mínima requerida en el contrato, para disminuir las recargas durante el día, especialmente durante las horas pico de utilización energética, cuando no se pueden recargar buses por el alto precio y la alta demanda de energía. Para evitar dicha demanda, las flotas eléctricas cargan durante sus ventanas de mantenimiento, principalmente en horas de la madrugada.

Finalmente, con el aumento de distintas tecnologías de recarga, también se ve un aumento en la confusión de cómo recargar los buses. Para evitarla, es necesario imponer requisitos de contrato con los fabricantes y proveedores de estaciones de recarga, para garantizar que el equipo entregado cumpla con lo prometido.¹⁵ Estos requisitos protegen a las empresas de tránsito, como TransMilenio, de los activos varados y ayudan a maximizar la viabilidad de los cargadores en el largo plazo.

¹⁵ MacDougall, “4 main takeaways.”

CONCLUSIÓN

Este estudio de caso muestra algunas buenas prácticas generales que se recomiendan para todas las compañías que planeen implementar estaciones de recarga de buses eléctricos. En Bogotá, una de las lecciones más importantes fue la necesidad de asumir algunos costos por el sector privado, por ejemplo, cuando se tomó la decisión de asumir los costos de infraestructura a través de una fusión de los servicios de provisión y operación. Otra lección aprendida es la importancia de trabajar con el sector público para superar las dificultades regulatorias, como se hizo en el caso de TransMilenio. Cabe anotar que el modelo operacional para cualquier proyecto de buses eléctricos e infraestructura de recarga requiere un análisis detallado a nivel operativo, para cada situación en cada mercado, y que no se deben extrapolar conclusiones sin analizar cada mercado de manera amplia.

La ciudad de Bogotá ya va en un buen camino hacia la descarbonización completa de su flota de buses. Se ha hecho el camino, aprendiendo las lecciones, algunas por repetir, y otras para dejar en el pasado, notando las razones por las cuales no se debería hacerlo de nuevo. La ventaja del pionero no es un trabajo fácil y es importante extrapolar estas lecciones aprendidas a otras ciudades y países. Será importante seguir algunas de las buenas prácticas replicables en otros mercados.

CONTACTO

zebra@theicct.org
zebra@c40.org



SOCIO DE APOYO



AGENCIA DE FINANCIACIÓN



SOCIOS IMPLEMENTADORES