

Aprendizajes de una Experiencia de Electrificación en el Transporte Público de Bogotá, Colombia

Caso de Estudio



SECRETARÍA DE
MOVILIDAD



Aprendizajes de una Experiencia de Electrificación en el Transporte Público de Bogotá, Colombia

Caso de Estudio

Agosto 2021

Autor y Desarrollo de Contenido

Mauro Mudu

Coordinación General y Revisión Editorial

Carolina Chantrill

Clara Puricelli

Colaboración y Asistencia

Luis Castro

Andrea Cardenas

Julián Díaz

Alejandro Gonzalez

Sofía Zarama

Este producto ha sido elaborado en colaboración con la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, Colombia y TRANSMILENIO S.A., con apoyo del Low Emission Development Strategies Global Partnership (LEDS GP), de la Plataforma Regional de Estrategias de Desarrollo y Bajo en Emisiones (LEDS LAC), del Grupo de Trabajo de Transporte de dicha Plataforma y de su Comunidad de Práctica de Movilidad Eléctrica.

RESUMEN EJECUTIVO

El incremento de la eficiencia energética del sector transporte a través de proyectos de electrificación es fundamental para lograr un aumento de los niveles sociales, económicos y ambientales de todos los países. En particular, los beneficios de este tipo de intervenciones cobran especial importancia para la reducción de las emisiones de gases contaminantes en áreas urbanizadas con consecuencias evidentes sobre la salud de la población y en la lucha contra el cambio climático.

Bogotá es actualmente la ciudad más poblada de Colombia y con su constante aumento demográfico tiene un rol preponderante para la economía de la nación. Como muchas ciudades de Latinoamérica, presenta graves problemas de contaminación que, en su mayoría, están relacionados al tránsito vehicular. Este sector es el responsable del 80% de las emisiones de particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y el 38% de las emisiones de gases efecto invernadero (Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá [SDM], 2020), como óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono. Sin embargo, Bogotá está impulsando una transición hacia vehículos eléctricos en el transporte público.

En este contexto se generaron una serie de políticas públicas de carácter fiscal y ambiental que incentivan la adopción de vehículos eléctricos en la ciudad a través de exenciones impositivas, restricciones de circulación y obtención de beneficios de manera diferenciada. Estas acciones, aunque recientes, generaron impactos que podrían nuclear cambios de política más profundos, y se analizarán en este estudio (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

El objetivo de este trabajo es de documentar y difundir los avances y aprendizajes de la Ciudad de Bogotá, Colombia, en la planificación de estrategias desarrolladas para incrementar la eficiencia energética del sector transporte, en lo específico en el Sistema Integrado de Transporte de Bogotá [SITP], gestionado por TRANSMILENIO S.A.¹, y analizar cuáles son las lecciones aprendidas de los procesos de articulación institucional para la integración de la movilidad eléctrica en el sistema de transporte actual.

Luego de una breve descripción de la situación actual sobre el transporte público en la Ciudad de Bogotá, útil para enmarcar el contexto en el que se inserta este proyecto, se analizan los aspectos fundamentales de la electrificación del componente zonal del SITP teniendo en cuenta las diferentes etapas de sus implementaciones: la progresión de introducción de los buses eléctricos, la tecnología utilizada, los sujetos involucrados y las inversiones realizadas.

El documento muestra que la electrificación del transporte público es un elemento fundamental en la transición sostenible de la movilidad de la ciudad y que los proyectos de electrificación de sistemas masivos de transporte de pasajeros, como lo es el SITP de Bogotá, requieren de un estudio de las condiciones de operación actuales para identificar oportunidades para la implementación de la electromovilidad.

En este caso de estudio se destacan las estrategias y acciones que permitieron la ejecución exitosa de la implementación de vehículos eléctricos en reemplazo de la flota con motores de combustión interna tradicionales. El análisis pone énfasis en la metodología para poder elaborar planes de transición de estas características y la necesidad de considerar la ejecución de pilotos para establecer los parámetros iniciales

¹ TRANSMILENIO S.A. es el ente gestor del Sistema, la entidad encargada de coordinar los diferentes actores, planear, gestionar y controlar la prestación del servicio público de transporte masivo urbano de pasajeros, y tiene la responsabilidad de la prestación eficiente y permanente del servicio en la ciudad de Bogotá D.C. Fuente: <https://www.TransMilenio.gov.co/publicaciones/146028/historia-de-TransMilenio/>.

para una adecuada selección de tecnologías, infraestructura de recarga y condiciones de operación deseadas.

El análisis de este caso de estudio concluye que, en una experiencia de transición tecnológica como la que TRANSMILENIO comenzó en el SITP, son fundamentales una fuerte cooperación entre las diferentes entidades involucradas, así como un enfoque integral de las diferentes dimensiones que componen el sistema, y un marco de política y regulatorio prometedor, claro y eficaz para la masificación de nuevas tecnologías de cero y bajas emisiones.

Tabla de contenidos

Introducción	6
Contexto nacional y local	7
Políticas públicas de reducciones de contaminantes y transporte público	7
Sistema Integrado de Transporte Público [SITP]	10
Componente Troncal: Servicio Troncal-TransMilenio	11
Componente Zonal	13
Servicio Alimentador (del componente zonal)	13
Servicio Urbano (del componente zonal)	14
Servicio Complementario (del componente zonal)	14
Servicio Especial (del componente zonal)	14
Componente Otros: Servicio TransMiCable	15
Patrones de movilidad en la ciudad	15
TRANSMILENIO y la electrificación del SITP	16
Fase 1 y 2 – Prueba Piloto y determinación de las características técnicas	18
Fase 3 – Promoción y masificación de la movilidad eléctrica	19
Fase 4 y 5 – Procesos de selección para la provisión y operación	20
Conclusiones	23
Referencias	25

1. Introducción

La necesidad de afrontar el cambio climático está impulsando a los países a emprender políticas de adaptación y mitigación. Colombia contribuye actualmente al 0,46% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero: para mitigar esta contribución el país se comprometió, en su nuevo plan climático nacional [NDC]², a una reducción del 51% de las emisiones respecto a la proyección de emisiones en 2030 en el escenario de referencia y a reducir las emisiones de carbono negro un 40% respecto al nivel de 2014. Para esto, incluyó en su NDC más de 140 acciones concretas de mitigación. A finales de 2015, se comprometió también a tomar medidas concretas de adaptación para lograr que el 100% del territorio nacional cuente con planes de adaptación al cambio climático. Este compromiso va de la mano del Plan Nacional de Adaptación y la Política Nacional de Cambio Climático.

En este contexto y en el camino hacia una mejor calidad de vida, de la sostenibilidad ambiental y energética de los centros urbanos, Colombia cree firmemente que una mejora de la eficiencia energética del sector transporte puede ser parte de su aporte para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales. Esto ha animado a Colombia a promover soluciones innovadoras, tanto para el transporte público como privado, basadas en el transporte eléctrico.

El objetivo de este trabajo es de documentar y difundir los avances y aprendizajes de la Ciudad de Bogotá, Colombia, en la planificación de estrategias desarrolladas para incrementar la eficiencia energética del sector transporte, en lo específico en el Sistema Integrado de Transporte de Bogotá [SITP], gestionado por TRANSMILENIO S.A., y analizar cuáles son las lecciones aprendidas de los procesos de articulación institucional para la integración de la movilidad eléctrica en el sistema de transporte actual.

² Desde el inglés: *NDC “Nationally Determined Contributions”*.

2. Contexto nacional y local

En Colombia, las emisiones de gases efecto invernadero [GEI] del sector transporte representan el 11% del total nacional (Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, 2016). Bogotá es también la ciudad con la mayor participación de emisiones del sector transporte en el país, representando el 58% del total de emisiones a nivel de ciudad.

En este sentido, Colombia incluyó como parte de las medidas de su plan climático nacional nuevas dinámicas y herramientas enfocadas a permitir la materialización, durante los próximos 10 años, de acciones de mitigación de los GEI. Finalmente, entre las metas más destacadas y relevantes de las NDC colombianas, se identifica aquella de la reducción en un 51% de las emisiones de dióxido de carbono proyectadas para 2030, la cual se enmarca en el propósito fundamental de lograr la carbono-neutralidad a 2050.

Según la SDM, el 65% de los viajes se realizan en modo motorizado, incluyendo el transporte público [TP], y son responsables del 80% de las emisiones de particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) generadas por combustión. Los PM afectan sobre todo a las personas vulnerables, constituyen un problema muy importante en la salud pública y son los responsables del 38% de las emisiones de GEI. Además, debido a las dinámicas de crecimiento económico y urbanización del país, el sector transporte tendrá un fuerte incremento en las próximas décadas.

Según el Balance Energético Colombiano (BECO), la componente del consumo energético del sector transporte del país es la más alta y en el 2018 representó el 40,06% de la energía final. El 96,2% de esta energía se genera con la utilización de combustibles fósiles (en mayoría derivados del petróleo), lo que significa que el transporte genera una gran cantidad de emisiones asociadas a los procesos de combustión (UPME, 2019). Además, el sector transporte es el que tiene mayores ineficiencias a nivel de consumo final, donde solo el 24% de la energía usada se convierte en energía útil. En este sentido, es el sector responsable del 53,86% del total de las pérdidas en energía del país.

Además, desde la perspectiva de cambio climático, con la Ley 1964 de 2019 Colombia promocionó la transición hacia tecnologías de cero y bajas emisiones estableciendo beneficios como la reducción en los impuestos vehiculares, descuentos en la revisión técnico mecánica y de emisiones de GEI, restricciones en el tránsito vehicular, parqueaderos preferenciales, así como la incorporación de vehículos eléctricos en la flota de sistemas de transporte masivo y oficiales y la ampliación de la infraestructura de recarga.

Políticas públicas de reducciones de contaminantes y transporte público

Los antecedentes normativos en Colombia relativos a la calidad del aire y cambio climático son muy recientes, tanto a nivel nacional como distrital. Bogotá comenzó en el año 2011 a impulsar una serie de políticas públicas como respuesta a los desafíos planteados de reducción de emisiones de GEI. Las primeras medidas decretadas consistieron en exenciones tributarias para vehículos eléctricos, la implementación de proyectos piloto (Decreto 566 de 2011), un Plan de Escalada Tecnológica del Sistema Integrado de

Transporte Público³ [SITP] y la firma de un convenio para la reconversión tecnológica de la flota de transporte público y privado en Bogotá (Acuerdo 002 de 2015).

La formulación de las políticas por parte de la Secretaría Distrital de Movilidad [SDM], regulada con el acuerdo 732 de 2018, prevé un procedimiento constituido por cuatro instancias de diferente plazo temporal (Figura 1).



Figura 1. Formulación de política, procedimiento definido por la Secretaría Distrital de Planeación [SDP] – Acuerdo 732 de 2018. Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad, 2020.

La Política tendrá por objeto a corto plazo, cumplir e impulsar la Meta sectorial en materia de movilidad limpia y sostenible y, de ejecutar el Plan de Desarrollo 2020-2024 “Un nuevo Contrato Social y Ambiental para la Bogotá del Siglo XXI”, donde se establece la meta de generar condiciones para aumentar a 6.500 vehículos de cero y bajas emisiones del parque automotor de Bogotá, incluyendo la implementación de 20 puntos públicos de carga rápida. A mediano y largo plazo, deberá cumplir e impulsar las metas establecidas en el Plan Maestro de Movilidad y en las estrategias de ascenso tecnológico de las distintas flotas. En este contexto la SDM lidera las políticas públicas y procesos de movilidad de cero y bajas emisiones en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente [SDA].

La fase de *Agenda Pública* se caracterizó principalmente por la implementación de mesas de trabajo con todos los actores institucionales relevantes (gobierno, sector privado y ciudadanía) para alimentar la política pública y afrontar las problemáticas que se identificaron (Figura 2): infraestructura ineficiente, rezago tecnológico y técnico, entorno económico desfavorable, falta de articulación institucional, vacíos normativos y barreras culturales.

³ En el marco del Plan Maestro de Movilidad, la carta de navegación de la ciudad en el tema, se establece la estructuración del nuevo SITP como instrumento que garantizará mejor calidad de vida de los ciudadanos, optimizando los niveles de servicio para viajes que se realizan en la ciudad. Fuente: <https://www.sitp.gov.co/>.

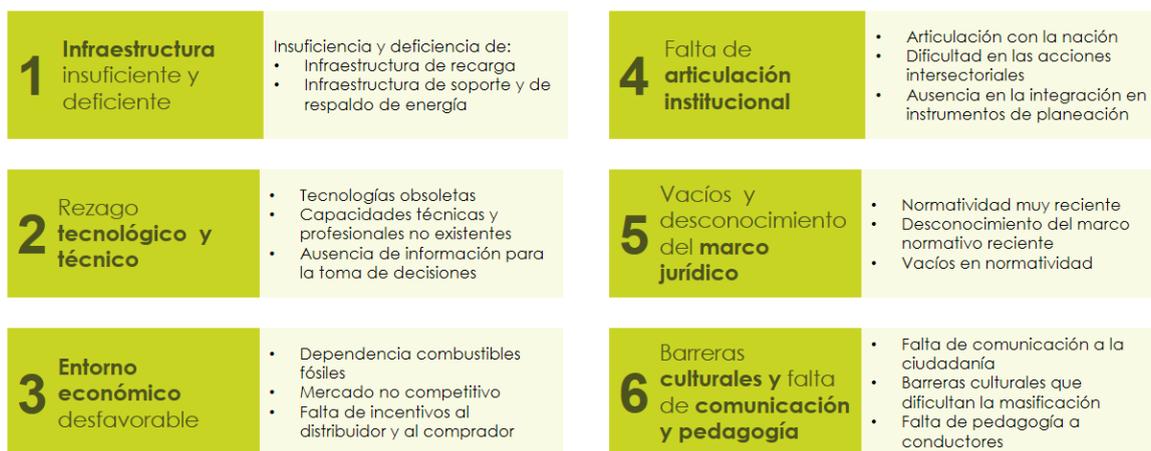


Figura 2. Barreras encontradas en fase de diagnóstico. Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad, 2020.

A partir de la fase de agenda pública se definió el objetivo general de la política y los objetivos específicos, los cuales se encuentran transversalizados por las estrategias de reposición de taxis, de ascenso tecnológico de flota oficial, ascenso tecnológico de transporte de carga, ascenso tecnológico de flota escolar y ascenso tecnológico de “3 wheelers”. A continuación, se presentan los objetivos.



Figura 3. Objetivos de la Política Distrital de Movilidad de Cero y Bajas Emisiones. Fuente: Secretaría Distrital de Movilidad, 2021.

En este momento se encuentra en fase formulación y se espera que a partir del año 2022 se inicie la implementación. Entre las diferentes metas que ya fueron definidas se incluye que la flota de transporte de colaboradores del Distrito debe ser cero emisiones a 2030.

En la misma fase el proceso de desarrollo de las políticas públicas se alimentó paralelamente con diferentes acciones:

- La articulación con LEDS-LAC, GIZ⁴ y ONU Ambiente para una asistencia técnica en movilidad de cero y bajas emisiones;

⁴ Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional.

- la construcción, con ITF⁵ y BID⁶, de un modelo de evaluación de escenarios de descarbonización y el desarrollo de las líneas base y proyección de emisiones al año 2050;
- la implementación de 2.136 patinetas eléctricas;
- el proyecto con ICLEI⁷ y actores del sector logístico de un transporte de carga bajo en carbono para ciudades sustentables en Bogotá, Medellín y Manizales;
- retomar el programa piloto de 43 taxis eléctricos;
- el plan de chatarrización de los buses más contaminantes del Sistema Integrado de Transporte Público [SITP] y renovación del sistema troncal y zonal por buses de tecnologías de cero y bajas emisiones.

Dentro de los grandes proyectos de movilidad que tiene Bogotá en este momento (fuera del sistema TransMilenio), está también el proyecto de la primera línea de Metro de Bogotá con una longitud de 23,9 km que permitirá:

- una reducción de 171.000 toneladas anuales de CO₂;
- un ahorro de tiempos de viajes de alrededor de 270 millones de horas año con una integración al resto del sistema que permitirá movilizar 72.000 pasajeros por hora por sentido;
- promover los cambios modales: sustituir parte de los viajes privados en viajes con TP;
- renovaciones de flota: en términos de capacidad y eficiencia;
- la reingeniería del sistema: promoción de recorridos mucho más eficientes.

Sistema Integrado de Transporte Público [SITP]

El transporte público en Bogotá tiene un papel fundamental en el funcionamiento de la ciudad. A través del transporte público se provee a todas las personas, sin distinción alguna, un medio de transporte accesible y asequible para movilizarse en la ciudad y llegar así a sus lugares de trabajo, estudio y recreación.

La implementación del nuevo Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá (año 2012) introdujo distintos tipos de servicios con los cuales se busca satisfacer la demanda de pasajeros de la ciudad, desde las zonas periféricas hasta las más céntricas, logrando así dar cobertura a toda la ciudad de manera equilibrada y ofreciendo un servicio eficiente, confiable y de fácil acceso para todos los ciudadanos.

El SITP divide la ciudad en trece zonas operacionales y una Zona Neutra (Figura 4), con el fin de facilitar la operación de cada uno de los concesionarios del sistema y mejorar el uso del servicio para toda la ciudadanía. La actividad de zonificación permitió dividir el territorio municipal en áreas a las que se reconocía características de demanda-oferta y de infraestructura específicas, con la consecuente atribución de límites operativos. Actualmente el SITP está conformado por tres componentes principales: Troncal, Zonal y Otros (Figura 4) bajo los cuales se estructuran los diferentes servicios.

⁵ Desde el inglés: *International Transport Workers' Federation*.

⁶ Banco Interamericano de Desarrollo.

⁷ Desde el inglés: *International Council for Local Environmental Initiatives (ahora: Local Governments for Sustainability)*.



Figura 4. Zonas operacionales SITP. Fuente: SITP 2021.

COMPONENTE TRONCAL	COMPONENTE ZONAL	COMPONENTE OTROS
Troncal-TransMilenio	Alimentación	TransMiCable
	Urbano	
	Complementario	
	Especial	

Figura 5. Componentes actuales del SITP. Fuente: TRANSMILENIO S.A., 2019.

Componente Troncal: Servicio Troncal-TransMilenio

Transita por las troncales (12 líneas) de la ciudad conectando las estaciones y los portales del Sistema TransMilenio (Figura 6) y garantiza un rápido desplazamiento mediante el uso de carriles exclusivos tipo autobús de tránsito rápido [BRT]⁸.

⁸ Desde el inglés: *Bus Rapid Transit*, BRT.

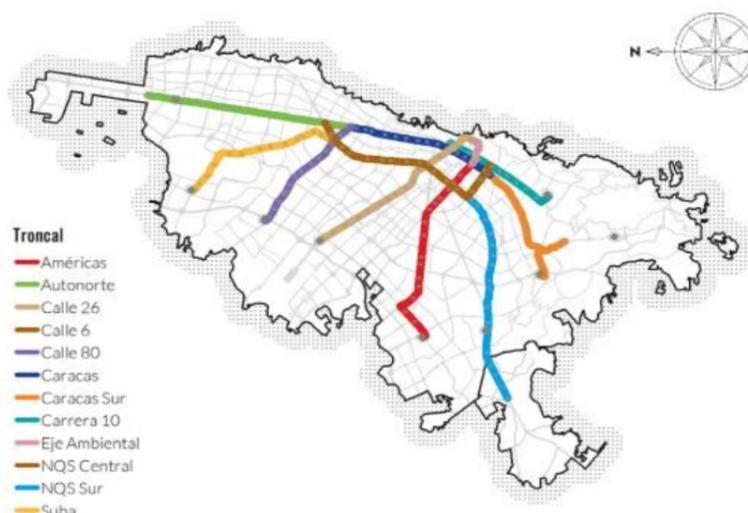


Figura 6. Rutas troncales. Fuente: TRANSMILENIO S.A., 2019.

Este servicio actualmente posee unidades articuladas y biarticuladas: las unidades articuladas (Figura 7) son buses de 22 metros de longitud con una articulación en el medio y una capacidad promedio de 160 pasajeros; las unidades biarticuladas (Figura 8) tienen una longitud de 27,2 metros y una capacidad promedio de 250 pasajeros, características que las convierten en el bus biarticulado más largo del mundo.



Figura 7. Unidad articulada. Fuente: SITP 2021.

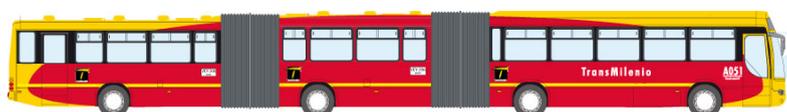


Figura 8. Unidad biarticulada. Fuente: SITP 2021.

ENERGÉTICO	ESTÁNDAR DE EMISIÓN	ARTICULADO	BIARTICULADO	PADRON DUAL	Totales
Diésel	Euro II	110	-	-	110
	Euro III	36	5	-	41
	Euro IV	31	41	-	72
	Euro V	109	319	31	459
	Euro V Híbrido	-	-	230	230
	Euro V Con Filtro	298	403	-	701
Gas	Euro VI	179	563	-	742
Totales		763	1.331	261	2.355

Figura 9. Composición de la flota Troncal. Fuente: TRANSMILENIO S.A., 2021.

Componente Zonal

Transita por distintas áreas de la ciudad conectando las estaciones y los portales del Sistema TransMilenio y se divide en zonas de alimentación, urbanas, complementarias y especiales (Figura 10).

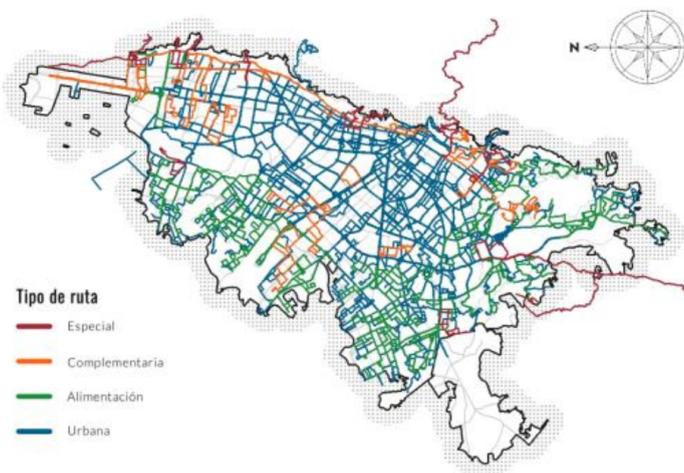


Figura 10. Rutas zonales. Fuente: TRANSMILENIO S.A., 2019.

ENERGÉTICO	ESTÁNDAR DE EMISIÓN	BUS (19p)	BUS (40p)	BUS (50p)	BUS (80p)	Totales
Diésel	< a Euro IV	206	351	812	16	1.385
	Euro IV	-	394	618	2	1.014
	Euro V	-	154	1.743	1.578	3.475
	Euro V Híbrido	-	-	50	56	106
	Euro VI	-	-	28	71	99
Gas	Euro VI	-	-	128	862	990
Energía Eléctrica	Cero emisiones	-	73	284	126	483
Totales		206	972	3.663	2.711	7.552

Figura 11. Composición de la flota Zonal. Fuente: TRANSMILENIO S.A., 2021.

Servicio Alimentador (del componente zonal)

El servicio ayuda a movilizarse desde y hacia las zonas aledañas a los portales y estaciones intermedias del Sistema TransMilenio, los vehículos alimentadores son similares en su diseño interior a los articulados y su gran mayoría cuentan con tres puertas, aunque de menor tamaño tienen una capacidad promedio de 90 personas (Figura 12).



Figura 12. Unidad del servicio Alimentador. Fuente: SITP 2021.

Servicio Urbano (del componente zonal)

El servicio urbano alimenta toda la ciudad transitando por vías principales en carriles mixtos y conecta los paradores de los recorridos establecidos. El parque vehicular está caracterizado por distintos tipos de buses en función de su capacidad (Figura 13).



Figura 13. Diferentes unidades del servicio Urbano. Fuente: SITP 2021.

Servicio Complementario (del componente zonal)

A diferencia del servicio urbano, que realiza conexiones entre las distintas zonas, el servicio complementario opera solo dentro de las zonas específicas y las estaciones de TransMilenio. Al igual que en el servicio urbano, el parque vehicular está caracterizado por distintos tipos de buses en función de su capacidad (Figura 14).



Figura 14. Diferentes unidades del servicio Complementario. Fuente: SITP 2021.

Servicio Especial (del componente zonal)

Este servicio transita desde y hacia las zonas periféricas de la ciudad. Estas zonas son aquellas a las que el sistema de transporte actual aún no llega y el servicio se presta mediante Microbuses (Figura 15).



Figura 15. Unidad del servicio Especial. Fuente: SITP 2021.

Componente Otros: Servicio TransMiCable

El TransMiCable (Figura 16) es un sistema de transporte tipo teleférico para el transporte de pasajeros en la ciudad de Bogotá. Está compuesto por una línea de 3,5 km de longitud que recorre un total de cuatro estaciones. La agencia TRANSMILENIO S.A. administra la operación del sistema teleférico el cual está completamente integrado con el resto del sistema de transporte público con el fin de ofrecer servicios de transporte más eficientes y fáciles de utilizar por los usuarios.

Con sus 163 cabinas, realiza 20.664 viajes diarios que comparados con los viajes que se realizan en auto, permite reducir hasta 3.000 toneladas anuales de CO₂ con un ahorro en tiempo que se traduce en \$8.800M (TRANSMILENIO S.A. 2020).



Figura 16. TransMiCable en Bogotá. Fuente: TRANSMILENIO, 2020.

Patrones de movilidad en la ciudad

La red de transporte público de la ciudad de Bogotá es la más grande de Colombia y realiza cerca de 13,3 millones de viajes diarios (Figura 17), de estos el 16,4% se realiza en TransMilenio, 19,8% en el SITP Zonal-Provisional-Alimentador, 14,9% en automóviles privados, 6,6% en bicicleta, 5,5% en motocicleta, 4,9% en taxi, y 23,9% a pie⁹.

⁹ Se refiere a viajes peatonales mayores o iguales a 15 minutos. Fuente: Encuesta de Movilidad 2019 de Bogotá

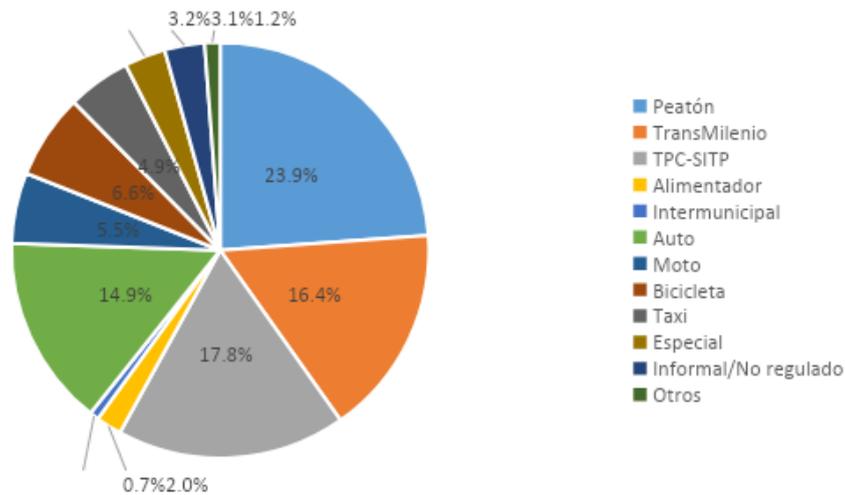


Figura 17. Distribución modal de Bogotá. Elaboración propia en base a datos de la Encuesta de Movilidad 2019 Bogotá.

Evaluando la composición de viajes dentro del sistema de transporte público masivo de la ciudad, se observa que el 67,4% de los viajes se realizan en modos sostenibles¹⁰ y, de éstos, el 36,9% son en transporte público masivo mientras que el 30,5% son en bicicleta y a pie. La evolución de los viajes en la ciudad de Bogotá entre el año 2011 y 2019 mostró una disminución de la cantidad de viajes en SITP (Zonal-Provisional) y simultáneamente un aumento de la cantidad de viajes en el sistema TransMilenio (Figura 18).

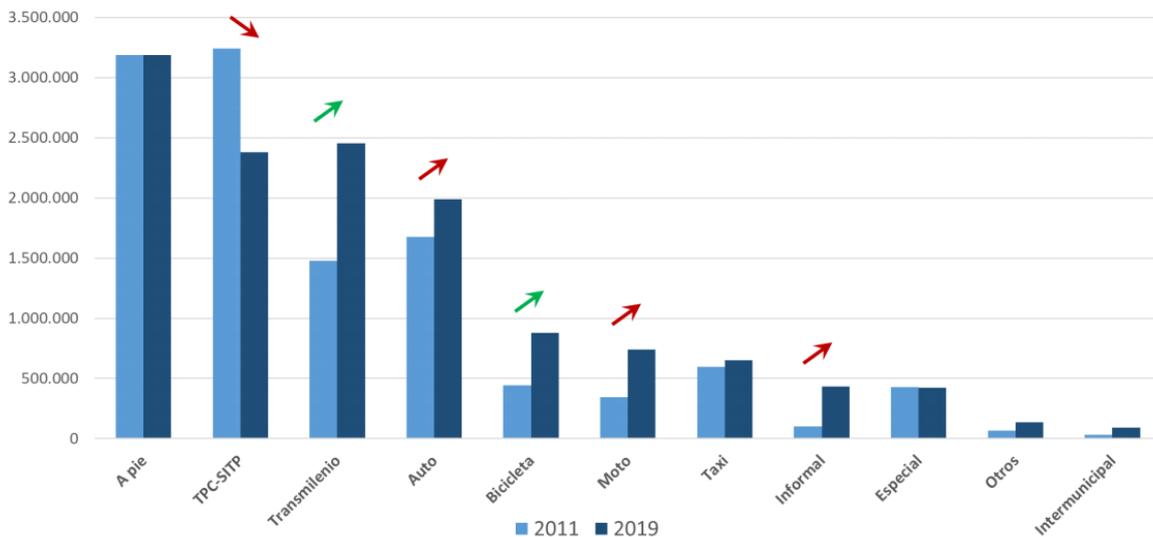


Figura 18. Evolución del total de viajes de Bogotá 2011-2019. Fuente: Encuesta de Movilidad 2019 Bogotá.

¹⁰ Se consideraron modos sustentables: peatón, Transporte público colectivo (TPC) TransMilenio, TPC-SITP, TPC Alimentador, TPC Intermunicipal y bicicleta.

3. TRANSMILENIO y la electrificación del SITP

TRANSMILENIO S.A. es la entidad pública que está a cargo del SITP, incluido el sistema BRT de la ciudad. La agencia tiene un rol fundamental en la planificación, administración y control de la red de servicios de transporte público urbano de pasajeros en la ciudad de Bogotá. Se encarga de coordinar las distintas partes interesadas, públicas y privadas, que participan en la construcción de infraestructuras, en operar los servicios de transporte y prestar servicios de control operativo, cobrar las tarifas y gestionar los fondos fiduciarios del sistema.

Aunque la operación depende de empresas de autobuses privadas, TRANSMILENIO S.A. regula los tiempos de operación de cada recorrido y de los servicios de BRT a lo largo del sistema. Asimismo, supervisa la operación del servicio de alimentación del sistema y las rutas de autobuses convencionales¹¹.



Figura 19. Características del sistema TransMilenio. Fuente: TRANSMILENIO S.A., 2020.

La empresa se ha convertido en un referente para Colombia, en particular, por la adopción de estándares ambientales y la implementación de acciones para alcanzar los estándares propuestos como, por ejemplo, la incorporación de nuevas unidades de cero o bajas emisiones. En este sentido, y en consideración de las políticas públicas impulsadas por el gobierno nacional y local, TRANSMILENIO S.A. se embarcó en un proceso de implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte público masivo. De esta manera la empresa busca cumplir con sus principales objetivos de reducir las emisiones de GEI y de aumentar la eficiencia energética del transporte.

Para lograr implementar efectivamente una estrategia de electrificación y llegar a una gradual y completa sustitución de la flota vehicular de motores a combustión interna, TRANSMILENIO S.A. puso en marcha una serie de “fases” (Figura 20) que le permitieron tomar decisiones de manera incremental teniendo en cuenta los desafíos propios de cada etapa. De esta forma, las consideraciones de dichas fases permitieron establecer, de manera global, los criterios para la implementación de las actuales y futuras acciones para la electrificación del SITP.

¹¹ TRANSMILENIO ofrece dos tipos de servicios, convencional con paradas en todas las estaciones, y expreso con paradas determinadas en estaciones de la ruta dependiendo de la hora (hora pico, hora valle o mixtos).

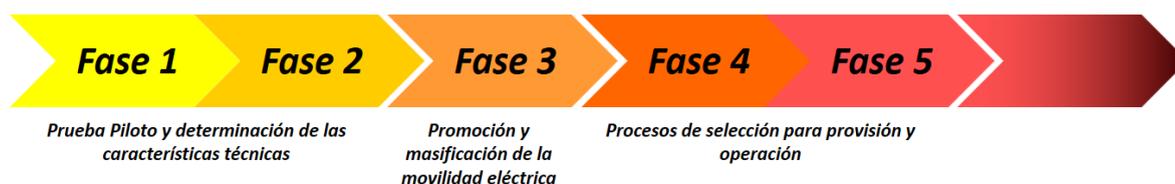


Figura 20. Fases para la electrificación del SITP. Elaboración propia.

Fase 1 y 2 – Prueba Piloto y determinación de las características técnicas

El primer paso para establecer la estrategia de electrificación del componente zonal del SITP fue necesariamente establecer los requerimientos técnicos del sistema, incluyendo el tipo de unidades eléctricas, la forma de recarga y el tipo de infraestructura asociada. Para ello, TRANSMILENIO S.A. decidió realizar una primera prueba piloto introduciendo un bus “padrón” 100% eléctrico a baterías.

La empresa seleccionó un bus eléctrico a batería llamado “eBus K9” (Figura 21). Esta unidad tiene una longitud de 12 metros y posee una capacidad de 80 personas. La primera fase inició en 2011 incluyó el estudio de diferentes tecnologías, la selección de la unidad y su sistema de recarga, la implementación de la infraestructura y la importación de la unidad, el entrenamiento y capacitación del personal a cargo, y la conducción de pruebas iniciales. Dos años después este bus entró en operación regular en el SITP zonal.

La conducción del piloto en condiciones de operación regular (segunda fase) permitió evaluar el desempeño ambiental y energético del vehículo. Los resultados de desempeño se integraron con los factores de emisión y eficiencia energética, y con ello fue posible obtener elementos para evaluar la viabilidad técnica de la migración a tecnologías eléctricas en el transporte público de pasajeros. Luego, para complementar los resultados en el año 2015 se probaron otras versiones del eBus que permitieron vincular a la operación regular un bus padrón eléctrico.



Figura 21. Bus eléctrico utilizado para la prueba piloto “eBus K9”. Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente.

En estas fases iniciales, TRANSMILENIO analizó distintos métodos de recarga, con la premisa de priorizar la flexibilidad y las necesidades del servicio de operación. En este análisis se identificó que los buses BEB¹²

¹² BEB, Buses Eléctricos a Batería, por su acrónimo en inglés, Battery-Electric-Bus.

acoplados a un sistema de recarga nocturna son los que mejores prestaciones darían en este esquema de funcionamiento.

Aprendizaje fase 1 y 2: Para la introducción de nuevas tecnologías en los sistemas de transporte público de pasajeros, se hace necesario desarrollar estudios de viabilidad técnica que permitan establecer el tipo y características de las unidades y su infraestructura asociada. De no ser por las pruebas iniciales y el desarrollo del piloto, TRANSMILENIO no contaría con la información necesaria para establecer las especificaciones técnicas de las nuevas unidades eléctricas y sus sistemas de recarga, para la implementación de la electromovilidad en proyectos de transporte masivo del SITP.

Fase 3 – Promoción y masificación de la movilidad eléctrica

Para un proyecto de electrificación que no cuenta con precedentes a nivel local ni nacional, se requiere atender los lineamientos de política pública y regulatorios existentes en Colombia, y en específico de la ciudad Bogotá, que sean de aplicación frente la incorporación de nuevas tecnologías de cero y/o bajas emisiones. Esta fase empieza con la firma del acuerdo 732/2018 “por medio del cual se adoptan medidas para la promoción y masificación de la movilidad eléctrica y demás tecnologías cero emisiones directas de material particulado en Bogotá, D.C. y se dictan otras disposiciones” y sucesivamente con los acuerdos 790/2020 “por el cual se declara la emergencia climática en Bogotá D.C” y el 811/2021 “por medio del cual se impulsan acciones para la emergencia climática y el cumplimiento de los objetivos descarbonización en Bogotá D.C.”

Estos fundamentales acuerdos tienen como objeto adoptar acciones en materia de mitigación y adaptación, considerando el cambio climático como el centro de todas las decisiones, estrategias e instrumentos de planeación del territorio, como también adoptar medidas de masificación de la electromovilidad con cero emisiones en Bogotá D.C., buscando impulsar el uso de vehículos eléctricos por parte de los ciudadanos, promover la renovación de los vehículos oficiales y de la flota del SITP mediante la incorporación de unidades eléctricas.

El desarrollo y la implementación de estas medidas se garantizaron a través de la formulación de la Política Pública Distrital de Movilidad Motorizada de Cero y Bajas Emisiones cuyos objetivos específicos de transporte público de la ciudad incluyen:

- La Administración Distrital, sus dependencias adscritas se abstendrán a partir del 01 enero del 2023 de comprar vehículos que usen combustibles fósiles para el servicio en las entidades que tengan como finalidad el transporte de servidores, sin incluir los que se adquieren para el servicio de Policía Nacional.
- A partir del año 2030, el 100% de los vehículos oficiales nuevos, o aquellos contratados para la prestación de dichos fines, que circulen en el Distrito Capital operen con motores eléctricos o tecnologías que generen cero emisiones directas de material particulado.
- La Administración Distrital, sus dependencias adscritas se abstendrán a partir del 01 de enero 2027 de comprar vehículos que usen combustibles fósiles para los buses cuyo servicio sea transporte de servidores, así como las demás tipologías vehiculares cuyo uso sea funcione de campo.
- Desde el año 2025, el 100% de los vehículos nuevos que operen en el componente troncal del Sistema Integrado de Transporte Público del Distrito Capital, lo hagan con motores eléctricos o tecnologías que generen cero emisiones directas de material particulado.

- En particular para todo el componente zonal (alimentador, urbano, complementario y especial) del SITP, desde el año 2040, todos los vehículos de servicio público o particular que circulen en el Distrito Capital deberán operar con motores eléctricos o tecnologías que generen cero emisiones de material particulado.

El Plan derivado de esta política establece metas periódicas para que, de forma progresiva y de manera adaptable a los cambios sociales, económicos y de evolución del mercado de los vehículos de tecnología que generen cero emisiones directas de material particulado, se cumplan los objetivos establecidos. Asimismo, el plan deberá ser revisado cada cinco años en aras de conocerse los avances y retos de su implementación y realizar las modificaciones pertinentes.

Aprendizaje fase 3: Para poder llevar adelante un proyecto de electrificación de los sistemas de transporte públicos, es importante contar con un marco regulatorio y de política que asegure la promoción de la movilidad eléctrica en la ciudad. El desarrollo de la política distrital de movilidad motorizada de cero y bajas emisiones fortalece el marco adecuado para que la empresa TRANSMILENIO pueda establecer y desarrollar acciones tendientes a implementar nuevas tecnologías de vehículos eléctricos en el SITP.

Fase 4 y 5 – Procesos de selección para la provisión y operación

La cuarta fase coincide con la culminación de la migración del transporte público tradicional al modelo integrado del SITP, luego de lo cual en 2019, con todos los estudios técnicos previamente hechos, se formuló una licitación pública para la selección de 594 buses 100% eléctricos BEB para el componente zonal.

En esta fase, la adjudicación de las ofertas se basa en el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas en los pliegos de licitación, así como de los requisitos de orden económico y financiero. Desde el punto de vista técnico, las condiciones contractuales establecen requisitos básicos de operación para la flota, e incorporan también algunos aspectos sobre la tecnología eléctrica a implementar en función de las experiencias piloto del 2011 y de la operación del bus padrón eléctrico vinculado en 2015.

La licitación en su primera instancia fue declarada desierta. Consecuentemente se introdujeron algunos ajustes contractuales y se volvió a licitar el proyecto. Esta segunda instancia logró obtener el primer hito de selección de flota eléctrica que llevó a la adquisición de los primeros 483 buses. A la fecha de este estudio, los 483 buses adjudicados ya están en operación regular.

Con el objetivo de obtener pluralidad de oferta al momento de las licitaciones, se eligieron algunos parámetros mínimos para cumplir por los oferentes, como la tecnología utilizada para las unidades BEB, la autonomía¹³ necesaria y la capacidad de pasajeros transportados. Otras características como la potencia necesaria de recarga (aunque se debe garantizar tiempos de recarga acorde a la operación del servicio), la tipología de las baterías, las tipologías de conector de recarga, etc., fueron dejadas a discreción del fabricante/proveedor de la flota y del sistema de recarga ya que no fueron consideradas determinantes para el SITP.

En esta fase se determinó que las características de los sistemas de recarga de energía debían estar en función de los requerimientos técnicos que deben cumplirse para cada tipo de bus eléctrico que sea presentado en las ofertas en los procesos de licitación. Tanto el tipo de cargadores, la potencia instalada y el

¹³ Autonomía de 260 km.

tipo de recarga, deben corresponderse con la tecnología de la flota a implementar, garantizando que la misma pueda disponer de la autonomía requerida conforme a las necesidades del diseño operacional.

Los requisitos para cada tipo de vehículo que fueran presentados en las ofertas tendrían que ser comunicados a la empresa de energía para definir las condiciones técnicas del patio de recarga que se adapten a la unidad elegida¹⁴. En este contexto, TransMilenio incorpora a las empresas proveedoras del servicio de energía eléctrica como actores en el modelo de negocio mediante un vínculo contractual de arrendamiento, y éstas ponen a disposición de la empresa operadora la infraestructura de recarga necesaria para los buses adjudicados.

La última fase empezó en el 2020. Ésta prevé la ampliación de los procesos de licitación, selección y adjudicación para la provisión y operación de 1.002 buses 100% eléctricos de baterías en el componente zonal del SITP. Para el presente año (2021), TRANSMILENIO prevé adelantar los procesos de selección para la provisión y operación de flota zonal. En este caso, lo hará en dos lotes en los cuales se otorgará puntaje a ofertas que se presenten con buses de cero emisiones. Mientras tanto, se continúa con la entrega y entrada en operación gradual de la flota eléctrica contratada durante los años 2019 y 2020 (Figura 22).

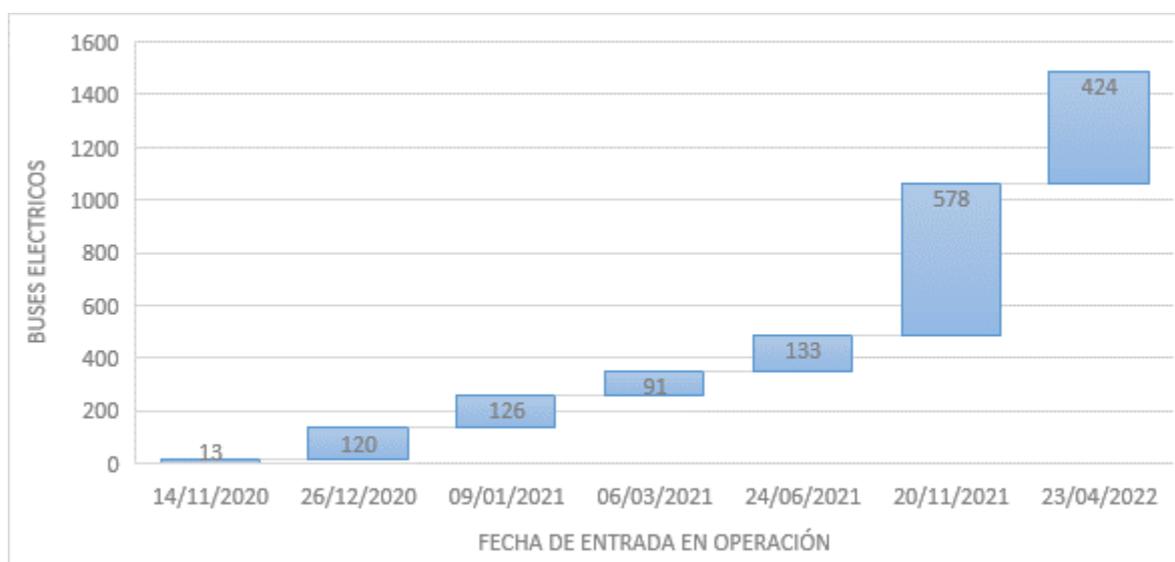


Figura 22. Hitos de incorporación a la operación del SITP de los 1485 buses eléctricos de batería. Elaboración propia en base a datos de TRANSMILENIO S.A., 2021.

Cabe destacar que, siendo Bogotá una ciudad altamente densificada y con limitada disponibilidad de suelo para la adecuación de los patios, se generaron algunos retrasos en la puesta en operación de la nueva flota. A ello se sumaron desafíos producto de la pandemia causada por el COVID19, que se vieron reflejados en dificultades y demoras en la entrega desde China de las unidades adjudicadas.

Aprendizaje fase 4 y 5: El involucramiento de actores claves, como el comercializador y distribuidor de energía, resultan fundamentales en establecer un modelo de negocio viable y adecuado a las condiciones de la ciudad y el sistema de transporte a electrificar. En el contexto de los procesos de licitación, la empresa que comercializa y distribuye el servicio de energía en Bogotá tomó la responsabilidad por la adecuación de los patios para el suministro de la energía. En el marco contractual resultante quedó establecido que los requerimientos de la infraestructura de recarga deben estar ligados a las características de los vehículos

¹⁴ Las marcas utilizadas hasta ahora son Yutong y BYD.

licitados sin limitar la pluralidad de oferentes, y así quedaron definidas las modalidades de implementación de las nuevas unidades eléctricas.

4. Conclusiones

La necesidad de afrontar los impactos que produce el cambio climático está impulsando a los países y varias ciudades a adoptar políticas públicas y planes destinados a reducir las emisiones de GEI. En este contexto, la creciente demanda de energía, debida principalmente a la expansión demográfica de las zonas urbanas, exige que el sector del transporte público urbano adopte estrategias de desarrollo sustentables y eficientes, que permitan una consecuente reducción de emisiones de GEI y un aumento de la calidad del servicio ofrecido a los ciudadanos.

Las emisiones de GEI del sector transporte colombiano representan el 11% del total nacional y Bogotá es la ciudad con la mayor participación, representando el 58% del total de emisiones a nivel de ciudad. En este sentido, Colombia incluyó como parte de su plan climático nacional (NDC) metas relacionadas con la electromovilidad, que cubren autobuses, taxis, motos y vehículos privados. Por lo tanto, proyectos como la electrificación de sistemas de transporte masivo de pasajeros como el SITP, contribuyen, en línea con las políticas vigentes, a la disminución de las emisiones de CO₂ y de particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) en áreas urbanas.

Las políticas públicas que Colombia y que la ciudad de Bogotá impulsó para promover la eficiencia energética fueron determinantes para el proyecto de electrificación masiva del transporte público. Éstas consistieron en exenciones tributarias para vehículos eléctricos, la implementación de proyectos piloto, un Plan de Escalada Tecnológica del SITP y la firma de un convenio para la reconversión tecnológica de la flota de transporte público y privado en Bogotá.

Los procesos derivados de dichas políticas, necesarios para incorporar vehículos de tecnologías de cero o bajas emisiones que se han dado en la ciudad de Bogotá han sido llevados a cabo con la participación de diferentes actores, tanto en el sector público como privado, buscando realizar una transición progresiva. Cabe destacar que la ciudad y la empresa TRANSMILENIO establecieron como premisa fundamental la prestación del servicio y la reducción de los impactos en calidad del aire generados por la operación de los vehículos.

Un importante paso para la electrificación del SITP fue el proyecto piloto de bus eléctrico “padrón” 100% eléctrico a baterías. El piloto permitió establecer la viabilidad para utilizar tecnologías eléctricas en el transporte público de pasajeros y estudiar la posibilidad de implementar esta tecnología en los nuevos proyectos de transporte masivo. Así se establecieron las bases técnicas que debían incorporar las nuevas unidades eléctricas y sus sistemas de recarga.

La firma de los Acuerdos 732/2018, 790/2020 y 811/2021 por medio de los cuales se adoptan medidas para la promoción y masificación de la movilidad eléctrica y otras tecnologías cero emisiones directas de material particulado en Bogotá, D.C., fue fundamental para impulsar los procesos necesarios para la provisión y operación de los buses eléctricos.

En el contexto de los procesos de licitación, selección y contratación de los buses eléctricos, se determinaron las actuaciones y responsabilidades de los oferentes, de la empresa de energía, y de los operadores. Mediante el involucramiento de todos los actores, y en el contexto de la definición del marco contractual, quedaron definidas las características necesarias de los sistemas de recarga de energía en función de los requerimientos técnicos que deban cumplirse para cada tipo de bus eléctrico sin limitar la

pluralidad de oferentes, fomentando la competitividad y diversidad de alternativas. De esta manera se definieron diferentes modalidades de implementación operativa de los buses eléctricos.

En conclusión, la experiencia de transición tecnológica que TRANSMILENIO empezó a llevar adelante en el SITP muestra que son fundamentales una fuerte cooperación entre las diferentes entidades involucradas, así como un enfoque integral de las diferentes dimensiones que componen el sistema, y un marco político y regulatorio claro y eficaz para la masificación de nuevas tecnologías de cero y bajas emisiones. Igualmente determinante resultó la decisión política de la ciudad de optar por una adquisición masiva de unidades eléctricas para escalar el proceso de electrificación desde esquemas de piloto hasta alcanzar la implementación de aproximadamente 1500 buses.

5. Referencias

ONU Medio Ambiente, MOVE, Euroclima, Aecid, Acciona. Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración regional 2019. Accessed January 2021.

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/32830/MovilidadEle%cc%81ctrica_LAC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TRANSMILENIO S.A., Sugerencia Técnica y de Servicios. Anexo técnico - Plan Marco 2019, 29 de December 2019. Accessed January 2021.

https://issuu.com/TransMileniosa/docs/anexo_te_cnico_-final5

TRANSMILENIO S.A., Sugerencia Técnica y de Servicios. Documento General - Plan Marco 2019, 29 de diciembre de 2019. Accessed January 2021.

<https://www.TransMilenio.gov.co/publicaciones/151562/documento-general-del-plan-marco-del-sitp-2019/descargar.php?idFile=5580>

UITP y brtt, Advancing Public Transport. VREF. TRANSFORMANDO CIUDADES MEDIANTE SISTEMAS BRT (BUS RAPID TRANSIT) ¿CÓMO INTEGRAR EL BRT?, May 2019. Accessed January 2021.

http://www.vref.se/download/18.45182a5f16a84e95fac947dd/1561613609384/UITP%20-%20VREF%20%20-%20BRT%20Report_Spanish_June%202019.pdf

LEDS GLOBAL PARTNERSHIP. LEDS GP's ELECTRIC MOBILITY COMMUNITY OF PRACTICE – MOVILILAC - CASE STUDY: The importance of having a sustainable mobility strategy in place, January 2020. Accessed January 2021.

https://static1.squarespace.com/static/5c409a405417fc579a5ccd4f/t/5fc4db769d7936484026ce96/1606736762373/2020-03_ANNEX_XI_Case+Study_MoviliLAC+2019_Jan2020.pdf

Secretaría Distrital de Movilidad, Dirección de Estudios Sectoriales y de Servicios. Observatorio de movilidad Bogotá D.C. /2017, 2017. Accessed March 2021.

https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/documentos/observatorio/Observatorio_de_movilidad_2017_min.pdf

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. HISTORIA INSTITUCIONAL DE LA EMPRESA DE TRANSPORTE DEL TERCER MILENIO, TRANSMILENIO S. A., 2019. Accessed March 2021.

<http://archivobogota.secretariageneral.gov.co/sites/default/files/documentacion-archivo/Historia%20Institucional%20de%20TransMilenio%202019%20%281%29.pdf>

TRANSMILENIO S.A. Estadísticas de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público SITP – Informe No. 72, 2020. Accessed March 2021.

<https://www.transmilenio.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=35840>

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. Resultados de la Encuesta de Movilidad de Bogotá y municipios vecinos, 2019. Accessed March 2021.

https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/encuesta/Encuesta_de_Movilidad_2019.zip

CAF – Banco de Desarrollo de América Latina, AFD – Agence Francaise de Developpement, Unión Europea. Desafíos para la integración de sistemas de transporte masivo: Manual de Buenas Prácticas, 2019. Accessed March 2021.

<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1403/2%20Desafios%20para%20la%20integracion%20de%20sistemas%20de%20transporte%20masivo-28feb.pdf?sequence=5#:~:text=La%20integraci%C3%B3n%20de%20un%20sistema%20de%20transporte%20puede%20definirse%20como.m%C3%A1s%20eficientes%20y%20f%C3%A1ciles%20de>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación Natura, WWF-Colombia, García Arbeláez, C., G. Vallejo, M. L. Higgings y E. M. Escobar. El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. 1 ed , 2016. Accessed March 2021.

https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, 2019. Accessed March 2021.

<https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Estrategia-Nacional-de-Movilidad-Elctrica-enme-minambiente.pdf>

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible, Ministerio De Minas Y Energía, Ministerio De Transporte Unidad De Planeación Minero Energética. Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, 2019