



El plan de ascenso tecnológico como herramienta para la transición hacia buses eléctricos en la ciudad de Bogotá D.C.



SOCIO DE APOYO



AGENCIA DE FINANCIACIÓN



SOCIOS IMPLEMENTADORES





Autores: Helmer Acevedo, Samantha Pettigrew, y Oscar Delgado.

Este caso de estudio es parte de una trilogía de análisis sobre la estrategia de Bogotá como ciudad mentora basada en explorar el despliegue 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 (con el que se presenta cómo se logró suministrar infraestructura y energía de recarga, considerando temas técnicos y regulatorios). El plan de ascenso tecnológico, tema del presente documento, ha sido una herramienta fundamental para lograr la meta de tener al día de hoy 1485 buses eléctricos en la ciudad.

ZEBRA: La asociación ZEBRA (*Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator*) trabaja para acelerar el despliegue de autobuses de cero emisiones en las ciudades de América Latina, con la meta final de cumplir los objetivos climáticos, mejorar la calidad del aire urbano y el estándar general del transporte público. ZEBRA es una asociación financiada por la Fundación *ClimateWorks*, dirigida por ICCT y C40 Cities, y apoyada por CMM-Chile y WRI.

TUMI E-Bus Mission: *The TUMI (Transformative Urban Mobility Initiative) E-Bus Mission* apoya a las ciudades en su transición hacia el despliegue de autobuses eléctricos. Trabajamos en estrecha colaboración con 20 ciudades de inmersión profunda en África, Asia y América Latina (Latam). Los grupos centrales nacionales y regionales trabajan para mejorar nuestros esfuerzos en una red que incluirá más de 100 ciudades repartidas por todo el mundo para 2022. Para 2025, la *TUMI E-Bus Mission* inspirará y equipará a las ciudades para adquirir más de 100 000 *e-buses*, lo que dará como resultado en una reducción de más de 15 megatoneladas de emisiones de CO₂.





TABLA DE CONTENIDO

Introducción	2
La Estructura del Plan de Ascenso Tecnológico	4
La ruta del PAT para lograr incorporar vehículos de cero emisiones en el Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá	7
Comentarios finales	11

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con cerca de cuarenta y seis millones de personas, donde la población mayoritariamente está concentrada en las grandes ciudades, con un porcentaje del 77.1% habitando en ellas.¹ Esto exige un despliegue importante de servicios urbanos, no solo en temas de infraestructura de servicios públicos, de educación y de salud, sino también en términos de movilidad, entre otros. Bogotá D.C. es la capital de Colombia, con una población de 7 181 469 personas.² Hasta el final de la década de los 90, el servicio de transporte público de pasajeros era operado por empresas privadas, cubriendo rutas definidas por la administración pública sin un control por parte de ésta en cuanto a frecuencia, calidad y seguridad.

El sistema de transporte público de la ciudad sufrió una modificación sustancial hacia el año 1999, con la implementación de un sistema de transporte masivo, administrado por un nuevo ente gestor denominado TransMilenio S.A. Este nuevo Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) se planificó por fases, comenzando en 1999 con la fase I, dedicando carriles exclusivos para vehículos con capacidad para 160 pasajeros en dos troncales y operados por cuatro empresas. La fase II se extendió en 2008 con características similares, pero cubriendo más troncales a lo largo de la ciudad e incluyendo tres nuevos operadores, continuando a la fase III en 2012, donde se incluyó buses con capacidad para 240 pasajeros y dos operadores más del sistema troncal, e integrando 13 operadores más en el sistema zonal, con vehículos de 19, 40, 50 y 80 pasajeros.

Estas tres primeras fases se caracterizaron principalmente por: (i) la unificación del recaudo de la tarifa; (ii) la estandarización de motores diésel en todos los vehículos del sistema, que cumplieran con las normas de emisiones Euro II, III, IV y V; (iii) la estandarización de la tipología de los vehículos; (iv) la definición de horarios y rutas; (v) la operación centralizada por parte del ente gestor (TransMilenio); y (vi) concesiones a operadores en las que se requería financiamiento propio.

Entre los años 2012 y 2018, derivado de las lecciones aprendidas durante los primeros 13 años de servicio, las crecientes preocupaciones por el impacto

1 “¿Dónde estamos?” Departamento Administrativo Nacional de Estadística, revisado el abril de 2023. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos>.

2 “Información general,” Departamento Administrativo Nacional de Estadística, revisado en abril de 2023., <https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#/>.



ambiental de los vehículos diésel en general y el surgimiento de nuevas tecnologías vehiculares, como los vehículos operados con gas natural, híbridos y eléctricos a baterías, el ente gestor desarrolló un programa denominado Plan de Ascenso Tecnológico (PAT). Este plan buscó evaluar las nuevas tecnologías por medio del uso de procedimientos estandarizados y unificados.

El PAT para el SITP fue adoptado a través del Decreto 477 de 2013, “el cual es un instrumento de la gestión ambiental del Distrito Capital, que permite la sustitución progresiva de tecnologías tradicionales de combustión interna con tecnologías de cero o bajas emisiones en ruta, en un proceso liderado por la Secretaría de Movilidad, la Secretaría Distrital de Ambiente y TransMilenio S.A. como ente gestor del SITP.”³

3 Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., “Decreto 477 de 2013 – Adopción del Plan de Ascenso Tecnológico para el Sistema Integrado de Transporte Público,” 21 de Octubre de 2013, https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3375.

LA ESTRUCTURA DEL PLAN DE ASCENSO TECNOLÓGICO

En esta sección, se describe el alcance del plan de ascenso tecnológico, incluyendo sus objetivos, la descripción de las pruebas y de los métodos que se usan para evaluar las diferentes tecnologías vehiculares.

OBJETIVO DEL PLAN DE ASCENSO TECNOLÓGICO

De acuerdo con el Decreto 477 de 2013, el objetivo del PAT es “mejorar la calidad del aire y reducir los impactos en la salud pública debidos a la contaminación atmosférica, en la ciudad de Bogotá D.C., a través de la implementación de tecnologías de cero o bajas emisiones en ruta en el SITP, mediante la reconversión futura de la flota, la definición de los procedimientos operacionales y las medidas de monitoreo y seguimiento.”

LOS ELEMENTOS ESENCIALES DEL PLAN DE ASCENSO TECNOLÓGICO

De acuerdo con el Decreto 477 de 2013, el PAT busca impulsar metas contempladas dentro del objetivo del mismo, a través de mecanismos de investigación e innovación, por medio de líneas de acción específicas. Este PAT se puede resumir de acuerdo con la figura 1.⁴

La coordinación está a cargo de tres instituciones de la ciudad de Bogotá. La Secretaría de Movilidad tiene por objeto orientar y liderar la formulación de las políticas del sistema de movilidad. La finalidad es atender los requerimientos de desplazamiento de pasajeros y de carga en la zona urbana. A la Secretaría Distrital de Ambiente de la ciudad de Bogotá le corresponde orientar y liderar la formulación de políticas ambientales y de aprovechamiento sostenible de los recursos ambientales y del suelo, entre otros. A TransMilenio, por su lado, le corresponde la gestión, organización y planeación del servicio público de transporte masivo urbano de pasajeros del Distrito Capital, actuando como gestora del SITP de la ciudad.

La coordinación, encabezada por estas tres instituciones, garantiza que el PAT podrá diseñarse e implementarse dentro del marco normativo de la ciudad, ya que cada una de ellas, tiene rol de autoridad en campos específicos como el de movilidad, ambiental y la gestión del transporte público masivo de la ciudad. Al tenerse claro el rol de las instituciones, la ejecución del PAT garantiza la consecución de las metas planteadas en el mismo.

⁴ Esta figura fue realizada por los autores, con base en el Decreto 477 de 2013.

Coordinación	Objetivos / Metas	Métodos	Líneas de Acción
<ul style="list-style-type: none"> • Secretaría de Movilidad • Secretaría Distrital de Ambiente • TransMilenio S.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad del aire. • Implementación de tecnologías de cero y bajas emisiones. • Reducción de Consumo de Energía (Resolución Nacional 18-0919 de 2010, Ministerio de Minas y Energía). 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconversión futura de la flota. • Definición de los procedimientos operacionales y medidas de monitoreo y seguimiento. • Gestión y Coordinación de un Banco de Información. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bogotá Ciudad Laboratorio y Banco de Pruebas para nuevas tecnologías de transporte. • Corredor verde de la Carrera Séptima. • Ascenso Tecnológico en el Componente Zonal. • Ascenso Tecnológico en el Componente Troncal.

SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN (RESPONSABLES:
SECRETARÍA DE MOVILIDAD Y SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE)

GUÍA METODOLÓGICA DE PRUEBAS PARA EL SITP

Figura 1. Estructura del Plan de Ascenso Tecnológico (Decreto 477 de 2013).

El objetivo del PAT es mejorar la calidad del aire y reducir los impactos en salud pública. Como meta, busca la reducción del consumo de energía, establecida en la Resolución Nacional 18-0919 de 2010, expedida por el Ministerio de Minas y Energía. Para conseguir su objetivo y metas, el PAT establece que se deberá realizar una reconversión futura de la flota para operar con tecnologías de cero y bajas emisiones, definiendo procedimientos operacionales y medidas de monitoreo y seguimiento. Toda esta información deberá consignarse en un banco de información que sirva de fuente primaria para su seguimiento y control.

Las líneas de acción definidas cuentan con tres elementos directos para conseguir las metas y objetivos del PAT. La primera es Bogotá D.C. como ciudad laboratorio y las dos siguientes son las líneas de ascenso tecnológico en los componentes zonal y troncal.

Bogotá D.C. como ciudad laboratorio incluye una guía metodológica para evaluar tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones, bajo las condiciones



de operación y funcionamiento del sistema de transporte masivo de Bogotá, gestionado por TransMilenio S.A. Toda esta información deberá permanecer públicamente en un banco de información disponible para la comunidad en general, gestionado por el equipo coordinador.

Las dos líneas de acción sobre el ascenso tecnológico para el componente zonal y el troncal, identifican aspectos comunes, entre los que se pueden enumerar: (i) rutas pioneras, evaluación del desempeño ambiental y energético; (iii) evaluación jurídica y financiera de contratos; (iv) incorporación de flota a las rutas pioneras; (v) reposición de vehículos usados; (vi) evaluación y control del desempeño (vii) estructuración de la fase de movilidad limpia troncal; y (viii) desarrollo y ejecución de la infraestructura.

En resumen, la estructura del PAT muestra que debe existir una coordinación entre diferentes instituciones o autoridades de la ciudad. A través de ello, es posible ejecutar planes de descarbonización de la flota de buses que operan en el sistema masivo de transporte. Con objetivos y metas claros, y con la adopción de metas a nivel nacional, el Distrito Capital, a través del PAT, ha logrado desarrollar métodos para reconversión tecnológica de los vehículos. Se han adoptado procedimientos operacionales y métodos de monitoreo y seguimiento. Dentro de las líneas de acción, se despliega la necesidad de: (i) desarrollar guías metodológicas para la evaluación de vehículos de cero y bajas emisiones; (ii) generar una base de datos que debe consignarse en un banco de información de dominio público; (iii) definir rutas pioneras; (iv) establecer estrategias de movilidad limpia en las troncales; (v) y ejecutar un correcto programa de evaluación y control.

LA RUTA DEL PAT PARA LOGRAR INCORPORAR VEHÍCULOS DE CERO EMISIONES EN EL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO DE BOGOTÁ

Bogotá consiguió la incorporación de 1485 vehículos eléctricos para el sistema zonal al año 2022. Este logro fue posible en gran medida gracias al PAT, aprobado desde 2013, y desarrollado por más de siete años, hasta comenzar a incorporar su primera flota de cero emisiones para el sistema zonal en 2020. Esta sección presenta un detalle del proceso desarrollado, hasta lograr el objetivo descrito previamente.

BASES CONCEPTUALES DE LA GUÍA METODOLÓGICA

Como se indicó en la sección anterior, el PAT contempla el desarrollo de una guía metodológica para la ejecución de pruebas de tecnologías de cero y bajas emisiones, dentro del sistema de transporte masivo de la ciudad de Bogotá. Esta guía hace parte de la línea de acción “Bogotá Ciudad Laboratorio.” Un resumen de las pruebas se muestra en la figura 2.

Las pruebas de corta duración están más enfocadas a requisitos normativos, de desempeño ambiental, operacional y energético de la tecnología, bajo carga simulada. Allí se encuentra un grupo de pruebas operativas, tales como de arranque en pendiente, aceleración, frenado, recuperación, maniobrabilidad y manejabilidad. Otro conjunto de pruebas de eficiencia energética y emisiones hacen parte de este grupo, y son aquellas como consumo, rendimiento y eficiencia energética en ruta, factores de emisión en ruta, ruido y confort térmico, emisiones al interior del vehículo, regeneración en ruta y autonomía en ruta.

Todas estas pruebas o ensayos que el PAT contempla, se enfocan en estudiar las tecnologías de cero y bajas emisiones, así como en entender las necesidades de la infraestructura de recarga, optimización de rutas y condiciones de operación, estrategias para financiar adecuadamente las flotas y determinar los beneficios ambientales y en salud pública, por la implementación de movilidad limpia.

Corta Duración	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el cumplimiento de los requisitos normativos, desempeño ambiental, operacional y energético de la tecnología, bajo condiciones de carga simulada.
Larga Duración	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer seguimiento al desempeño ambiental, energético y operacional de la tecnología bajo condiciones normales de operación u operación comercial.
Pruebas en Ruta	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de pruebas diseñadas para verificar el desempeño ambiental y operacional de un vehículo, bajo un ciclo de conducción y/o circuito de prueba, representativo de las rutas y/o servicios diseñados con operación ya sea troncal o zonal.
Dinamómetro	<ul style="list-style-type: none"> • Son pruebas de laboratorio que se desarrollan sobre un dinamómetro que deberá tener programado el ciclo de conducción estándar para Bogotá.
Control y Seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene como objetivo hacer seguimiento al desempeño ambiental de la flota, principalmente asociado a los factores de emisión y de eficiencia energética.
Plan Inicial de Aclimatación	<ul style="list-style-type: none"> • Protocolo o conjunto de pruebas diseñado para garantizar la optimización en el consumo energético y minimizar los efectos ambientales adversos de la operación de la flota vehicular.

Figura 2. Descripción del Tipo de Pruebas Contempladas en el PAT.⁵

⁵ Adaptada de la "Guía Metodológica para la Realización de Pruebas de Buses Con Tecnologías Limpias (Version2.0)," TransMilenio S.A. y Secretaría Distrital de Ambiente, Marzo de 2021.

EL CAMINO PARA LOGRAR INCORPORAR FLOTA DE CERO EMISIONES EN EL SITP DE BOGOTÁ A TRAVÉS DEL PAT

El camino a la electrificación de parte del transporte público de pasajeros de la ciudad de Bogotá comienza en el 2011 con pruebas realizadas dentro del Programa Latinoamericano de Pruebas Híbridos y Eléctricos.⁶ En el año 2013, se oficializa a través del decreto 477 el Plan de Ascenso Tecnológico.⁷ En 2014, ingresa a operar Bogotá Ciudad Laboratorio, así como los 231 vehículos híbridos en el SITP. También comienzan a diseñarse los pliegos de licitación de movilidad limpia y se realiza una Alianza Público Privada denominada Bogotá Eléctrika, para electrificar el SITP de Bogotá. En 2016 se realizan las pruebas de corta y larga duración al vehículo tipo padrón de cero emisiones, dotado con baterías eléctricas, y se realizan ensayos de corta duración de un bus articulado eléctrico a baterías. En el año 2018 se realizan las pruebas de larga duración del bus articulado eléctrico a baterías. En 2019, se fortalece el marco normativo de cero y bajas emisiones, y se estructuran las licitaciones para la renovación de flota zonal de cero emisiones Fase V, Etapa 1. En el año 2020 se lanzan los procesos licitatorios para renovación de flota zonal a través de las licitaciones de cero y bajas emisiones, Fase V, Etapas 2 y 3, y se inicia la operación de la flota eléctrica del SITP con el despliegue de 136 buses.⁸ Para el año 2021, se incorporan 928 buses eléctricos a baterías en el sistema zonal, se fortalece el programa de pruebas de buses eléctricos y estudios ambientales, se estructuran pilotos de buses de cero emisiones eléctricos e hidrógeno verde, y se implementan los patios eléctricos. Finalmente, para 2022, se vinculan 424 buses eléctricos al sistema zonal. La figura 3 muestra esta línea de tiempo, indicando los hitos claves derivados del éxito del PAT para el despliegue de la flota eléctrica zonal en el Distrito Capital.

6 Néstor Roa, "La movilidad sostenible del futuro en las ciudades latinoamericanas," *Movillblog*, 5 de Octubre de 2016, <https://blogs.iadb.org/transporte/es/4159/>.

7 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., "Decreto 477 de 2013 - Adopción del Plan de Ascenso Tecnológico para el Sistema Integrado de Transporte Público," 21 de Octubre de 2013, https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3375.

8 Mauro Mudu, *Aprendizajes de una Experiencia de Electrificación en el Transporte Público de Bogotá*, Colombia, (LEDS LAC, Agosto de 2021), <https://www.ledslac.org/wp-content/uploads/2022/01/Caso-de-Estudio-Bogota-2021-09-FINAL-con-logos1-1-1.pdf>.

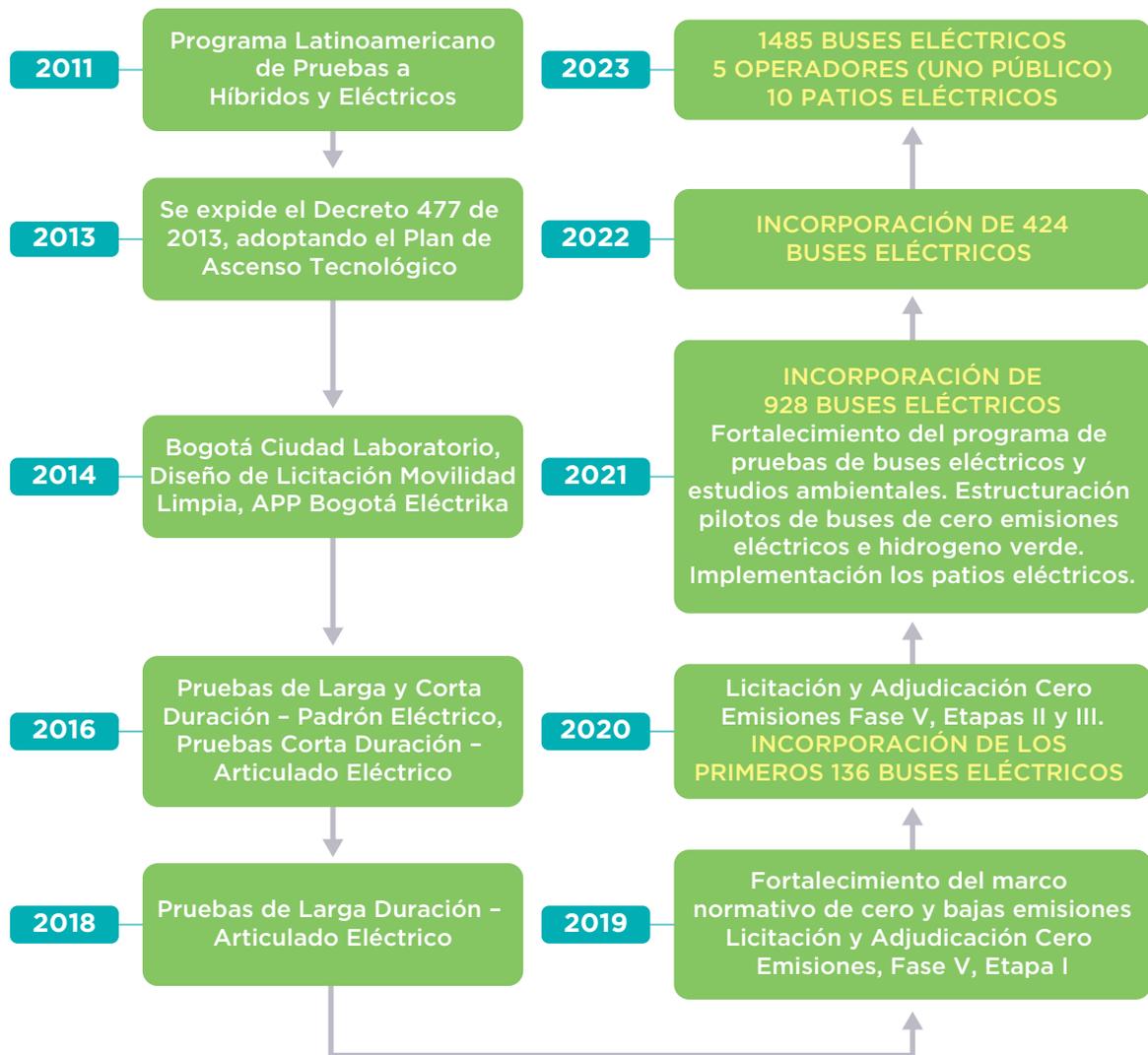


Figura 3. El camino para lograr incorporar flota de cero emisiones en el SITP de Bogotá a través del PAT.

COMENTARIOS FINALES

El logro de Bogotá para conseguir el despliegue de flota de cero emisiones para el SITP se basó en los siguientes puntos:

- Inicialmente, Bogotá D.C. contó con apoyo de cooperación internacional para comenzar a realizar pilotos con vehículos de bajas emisiones, estructurar financieramente modelos posibles para aplicar en las licitaciones y garantizar la incorporación de flota de cero emisiones.
- El plan de ascenso tecnológico propuesto por el ente gestor TransMilenio S.A. logró convertirse en una herramienta con fuerza regulatoria, para implementar tecnologías de cero emisiones en Bogotá D.C.
- El plan de ascenso tecnológico define una coordinación entre las diferentes instituciones de transporte y ambiente de la ciudad de Bogotá D.C. Este plan convierte a Bogotá en una ciudad laboratorio que promueve el ascenso tecnológico en los componentes zonal y troncal.
- Las metas contempladas dentro del plan de ascenso tecnológico incluyen mejorar la calidad del aire, reducir los impactos sobre la salud pública causados por el transporte y reducir el consumo de energía, de acuerdo con las metas definidas por el Ministerio de Minas y Energía a nivel nacional.
- El plan de ascenso tecnológico permitió estructurar las licitaciones de flota de cero emisiones para la Fase V (etapas I, II y III) del SITP y generar insumos para los marcos normativos de cero emisiones.
- Como logro de esta estrategia para conseguir la incorporación de vehículos de cero emisiones en el SITP, fundamentados en el plan de ascenso tecnológico, la ciudad cuenta con 1485 buses eléctricos en el componente zonal, diez patios con estaciones de recarga, cinco operadores (uno público) que operan flota de cero emisiones y talento humano diverso con inclusión de género que opera y mantiene dicha flota.

CONTACTO

zebra@theicct.org

zebra@c40.org



SOCIO DE APOYO



AGENCIA DE FINANCIACIÓN



SOCIOS IMPLEMENTADORES