

Buses Eléctricos

Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos

s. - CONSTITUCION 59 LA LUCILA - SAN LORENZO

AIRE ACONDICIONADO

AIRE

COLECTIVO
ELÉCTRICO



Buenos
Aires
Ciudad



Vamos
Buenos
Aires

ELÉCTRICOS

JUL
2021

Subsecretaría de Planificación de la Movilidad
Bajas Emisiones

Buses Eléctricos

Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos

Julio 2021

Coordinación de Bajas Emisiones
Dirección General de Diseño e Implementación
Subsecretaría de Planificación de la Movilidad
Secretaría de Transporte y Obras Públicas
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires

Secretaría de Transporte y Obras Públicas

Juan José Mendez

Subsecretaría de Planificación de la Movilidad

Lucila Capelli

Equipo

Milagros Garros
Pedro Orbaiz
Constanza Movsichoff
Juan Agulló
Julián Rivera Parejas
Santiago Cosentino
Nicolás Oxenford
Santos Aguirre
Camila Fernández Castro

Agradecimientos

El presente informe es el resultado de un conjunto de análisis de diferentes índoles llevado a cabo a fin de estudiar el uso de la energía alternativa al diésel, como la eléctrica, en unidades de colectivos del sistema de transporte público de pasajeros por automotor que circulan en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). Con la intención de evaluar la tecnología y su posible escalabilidad, se llevó a cabo la Prueba Piloto de Colectivos de Combustibles Alternativos, a partir de la cual se probaron dos vehículos eléctricos en una Línea de colectivos que circula por la CABA.

Desde el equipo de la Secretaría de Transporte y Obras Públicas consideramos oportuno agradecer y mencionar a todo el equipo interdisciplinario e intersectorial que se formó para poder realizar este trabajo que hizo posible su implementación y consecuente resultado. Se caracterizó por superar adversidades imprevistas, y mantener el entusiasmo desde el principio hasta el fin. La producción de este informe se ha tomado con suma seriedad y responsabilidad, como merece un tema tan importante para el mundo como es la electromovilidad.

Agradecemos a las empresas del sector privado, como a la empresa concesionaria COLGAS, así como a la empresa operadora de colectivos de la Línea 59 - MICROOMNIBUS CIUDAD DE BUENOS AIRES S.A., que participaron de manera activa.

Gracias a la participación de CAF (Corporación Andina de Fomento, Banco de Desarrollo de América Latina) junto con Hinicio y Sistemas Sostenibles (empresa de consultoría estratégica enfocada en energía y transporte sostenible), ya que se pudo realizar un monitoreo de los buses donde se obtuvieron datos sólidos que permitieron describir, analizar, y evaluar la operación de dichos buses.

También agradecemos al sector público como al Ministerio de Transporte del Estado Nacional argentino junto con la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT); al Ministerio de Desarrollo Productivo nacional - en colaboración con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Además a ENEL Argentina; ya que entre todos colaboraron y acompañaron con técnicos y especialistas que hicieron posible la realización de dicha Prueba Piloto.

Resumen

En el marco del Plan de Movilidad Limpia del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (en adelante, el GCABA) se creó el Programa de Prueba Piloto de Colectivos de Combustibles Alternativos (Resolución N°634/SECTRANS/17); con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica, operativa, económica, y ambiental de colectivos bajas emisiones, así como también analizar la escalabilidad de las tecnologías. El programa incluye la prueba piloto de colectivos biodiesel, GNC y eléctricos. En este documento se exponen los resultados de la Prueba Piloto Eléctricos, que se llevó a cabo durante los años 2019 y 2020.

Los vehículos eléctricos presentan excelente potencial para la reducción de dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera siempre y cuando se cuente con una matriz de producción y distribución eléctrica limpia y eficiente. Además, el reemplazo de un colectivo a combustión por uno eléctrico genera una reducción total de agentes contaminantes del aire como el material particulado y óxidos nitrosos debido a la emisión cero in-situ durante la operación de este último. Gracias al sistema de telemetría incorporado por el fabricante de los colectivos y al relevamiento manual de datos realizado por la Empresa Operadora, se obtuvieron datos sólidos que permitieron describir, analizar, y evaluar la operación de dichos colectivos. Además, se realizó un análisis económico, así como ambiental comparando ambas tecnologías.

La Prueba Piloto fue consecuencia de una triangulación entre el GCABA y dos actores del sector privado (representado por una concesionaria y por una empresa operadora). La Concesionaria COLCAR (de ahora en más La Concesionaria, como dueña de los colectivos, entregó los mismos en comodato a la Línea 59 durante un año para realizar la prueba, en dicho plazo. La Línea 59 - MICROÓMNIBUS CIUDAD DE BUENOS AIRES S.A. (en adelante, la Empresa Operadora) absorbió los costos de operación de los colectivos, mientras que la empresa dueña (COLCAR) realizó el mantenimiento de rutina necesario sobre las unidades, luego de recibir las capacitaciones por parte del fabricante (YUTONG). El rol del GCABA consistió en solicitar al Ministerio de Transporte del Estado Nacional el dictado del marco legal necesario para la realización de la Prueba Piloto que permitió la incorporación de los colectivos eléctricos a las flotas de las empresas de servicios de transporte por automotor de pasajeros de carácter urbano y suburbano, para la ejecución de esta. También, la Secretaría de Transporte y Obras Públicas de GCABA colaboró con la obra correspondiente a la infraestructura de carga, y brindó un equipo técnico a disposición para la gestión, seguimiento y análisis para la prueba y facilitar incentivos para que suceda.

Las unidades eléctricas operaron como flota adicional en la Línea 59, operada por La Empresa Operadora. Se probaron dos colectivos del mismo modelo de la marca Yutong, modelo ZK6128BEVG (de carga lenta y capacidad de 324 kWh) los cuales fueron adquiridos por la concesionaria de vehículos COLCAR y se patentaron

bajo los dominios AD667GM y AD667GL.

La Prueba Piloto acortó la distancia que existe entre la tecnología eléctrica y el sistema de colectivos que opera actualmente en territorio de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (en adelante, la CABA), siendo un proyecto que permitió el acercamiento a lo novedoso y a la experimentación de primera mano de la operación de estos colectivos en la CABA. Por lo que corresponde considerar que dicha prueba es un primer paso en el camino hacia una movilidad sustentable que comienza a recorrer el sistema de transporte público de pasajeros por automotor.

Índice

<u>Resumen</u>	5
<u>Índice</u>	7
<u>Lista de Tablas</u>	8
<u>Lista de Figuras</u>	9
1. <u>Introducción</u>	10
1.1 <u>Plan de Movilidad Limpia</u>	10
1.2 <u>Prueba piloto</u>	13
1.3 <u>Preparación de la prueba piloto</u>	14
2. <u>Análisis técnico y operativo</u>	16
2.1 <u>Operación de Línea 59</u>	16
2.2 <u>Especificaciones de los colectivos eléctricos</u>	18
2.3 <u>Metodología de seguimiento</u>	19
2.4 <u>Resultados de la prueba</u>	20
2.4.1 <u>Distancia recorrida</u>	21
2.4.2 <u>Estado de carga y profundidad de descarga</u>	22
2.4.3 <u>Consumo energético</u>	24
2.4.4 <u>Velocidad media</u>	26
2.4.5 <u>Autonomía</u>	27
2.5 <u>Mantenimiento</u>	29
3. <u>Análisis económico</u>	30
3.1 <u>Costo total de propiedad</u>	30
3.2 <u>Resultados del costo total de propiedad</u>	32
3.3 <u>Subsidios</u>	33
4. <u>Análisis ambiental</u>	35
4.1 <u>Impacto ambiental: emisiones de GEI</u>	35
4.2 <u>Matriz energética y factor de emisión</u>	36
4.3 <u>Ciclo completo del dióxido de carbono</u>	37
4.4 <u>Calidad del aire: agentes tóxicos</u>	38
4.4.1 <u>Óxidos nitrosos</u>	38
4.4.2 <u>Monóxido de carbono (CO)</u>	38
4.4.3 <u>Material particulado (MP)</u>	38
4.4.4 <u>Hidrocarburos (HC)</u>	39
4.5 <u>Reducción de gases de efecto invernadero</u>	39

5. Conclusiones.....	40
6. Bibliografía	43
7. ANEXO.....	45
7.1 Especificaciones técnicas del colectivo eléctrico.....	45
7.2 Ejemplo de factura de consumo eléctrico durante la prueba piloto.....	46
7.3 Estación de carga en el predio de la Línea 59 (ubicada en la calle Luna 1299, Barracas CABA).	47
7.4 COVID-19.....	48

Lista de Tablas

<u>Tabla 1.</u> Información básica sobre la prueba realizada. Elaboración propia.....	14
<u>Tabla 2.</u> Distancia que típicamente recorren los colectivos de la línea. La vuelta “corta” es el recorrido que va desde Barracas hasta el punto rojo en la figura 4 y la vuelta “larga” es el recorrido que va desde Barracas hasta La Lucila. Elaboración propia.....	18
<u>Tabla 3.</u> Resumen de los resultados obtenidos durante la prueba. Elaboración propia.....	21
<u>Tabla 4.</u> Resumen de los registros de profundidad de descarga de las unidades eléctricas a lo largo de la Prueba Piloto. Elaboración propia.....	24
<u>Tabla 5.</u> Rango de consumo y autonomía medio y máximo observado durante la prueba piloto. Elaboración propia.....	27
<u>Tabla 6.</u> Valores utilizados en el análisis económico. Elaboración propia.....	31
<u>Tabla 7.</u> Costo total de vida de ambas tecnologías para la operación de la Prueba Piloto para una flota de 60 unidades. Elaboración propia.....	33
<u>Tabla 8.</u> Emisiones de CO2 anuales para ambas tecnologías. Elaboración propia.....	40

Lista de Figuras

<u>Figura 1.</u> Porcentaje de emisiones de CO ₂ para los diferentes sectores de transporte de CABA. Fuente: Plan de Movilidad Limpia, 2017.....	11
<u>Figura 2.</u> Porcentajes de emisiones de NO _x por combustible y rubro, para a flota de vehículos automotores de CABA. Fuente: Plan de Movilidad Limpia 2017.....	12
<u>Figura 3.</u> Porcentajes de emisión de MP10 por combustible y rubro, para la flota de vehículos automotores de CABA. Fuente: Plan de Movilidad Limpia, 2017.....	12
<u>Figura 4.</u> Recorridos realizados por los colectivos en la Línea 59. Elaboración propia.....	17
<u>Figura 5.</u> Imagen del colectivo eléctrico: utilizado en la prueba dentro de la Línea 59.....	18
<u>Figura 6.</u> Planilla manual tipo para recolección de datos, día 5/9/2019. Elaboración propia.....	20
<u>Figura 7.</u> Distancias diarias recorridas por ambas unidades a lo largo de toda la Prueba Piloto. Elaboración propia.....	22
<u>Figura 8.</u> Registros de profundidad de descarga en función del mes de operación para la unidad 113. El gráfico incluye el valor medio mensual, en rojo, el rango de percentil 25%-75%, en azul, y la dispersión de registros dentro del mes, en negro. Elaboración propia.....	23
<u>Figura 9.</u> Registros de profundidad de descarga en función del mes de operación para la unidad 114. El gráfico incluye el valor medio mensual, en rojo, el rango de percentil 25%-75%, en azul, y la dispersión de registros dentro del mes, en negro. Elaboración propia.....	23
<u>Figura 10.</u> Consumo medio diario de las unidades eléctricas a lo largo del año. Elaboración propia.....	25
<u>Figura 11.</u> Consumos mensuales promedios calculados con los registros. Elaboración propia.....	26
<u>Figura 12.</u> Velocidad media diaria calculada a partir de los registros manuales. Elaboración propia.....	27
<u>Figura 13.</u> Autonomía en función de los años considerando una degradación de la batería del 5% anual y un consumo medio de 1,02 [kWh/km]. Elaboración propia.....	29
<u>Figura 14.</u> Costo total de vida de un colectivo diésel Euro V y un colectivo eléctrico de carga lenta operando dentro de la Línea 59. Cálculo basado en la estructura de subsidios del gobierno de la ciudad. Elaboración propia.....	33
<u>Figura 15.</u> Composición de la matriz energética Argentina (2018).....	36
<u>Figura 16.</u> Emisiones correspondientes a cada proceso del ciclo de vida del combustible diésel. (gGHG se refiere a los gramos de gases de efecto invernadero que se emiten).....	37

1. Introducción

El documento en mano presenta un análisis técnico, económico y ambiental de la Prueba Piloto de buses Eléctricos realizada durante los años 2019 y 2020 en la CABA. La misma comprende una de las tres pruebas piloto realizadas por el GCABA en el marco del Programa de Pruebas Piloto de Colectivos de Combustibles Alternativos, Resolución N°634/SECTTRANS/17. A lo largo de este informe se describirá la preparación, puesta en marcha y monitoreo de la Prueba Piloto Eléctricos, se presentarán los datos recolectados a lo largo de la misma, se analizarán resultados y presentarán las conclusiones pertinentes.

Para poner en contexto al lector, se presenta a continuación una breve descripción del Plan de Movilidad Limpia (en adelante, PML), construido por el GCABA. El mismo tiene como objetivo establecer un plan de acción que busca reducir el impacto del Sector Transporte de la CABA en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (en adelante, GEI) y contaminantes del aire. Además, en esta sección se detallarán los pasos implementados para poner en marcha el piloto de buses eléctricos.

1.1 Plan de Movilidad Limpia

El sector transporte representa el 28% de las emisiones de CO₂ de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El Plan de Movilidad Limpia (PML)¹ se creó con el objetivo de estudiar potenciales medidas para reducir las emisiones contaminantes generadas por el sector transporte en la CABA. Plantea como principales objetivos al año 2035, la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en un 14% y en un 50% las de óxidos nitrosos (NO_x) y material particulado (MP), tomando como año base el 2015.

¹ Plan de Movilidad Limpia de la Ciudad de Buenos Aires (2017):

<https://drive.google.com/file/d/1wapXt-wkNTwTR5qYHSHBLMYuceP7jowb/view?usp=sharing>

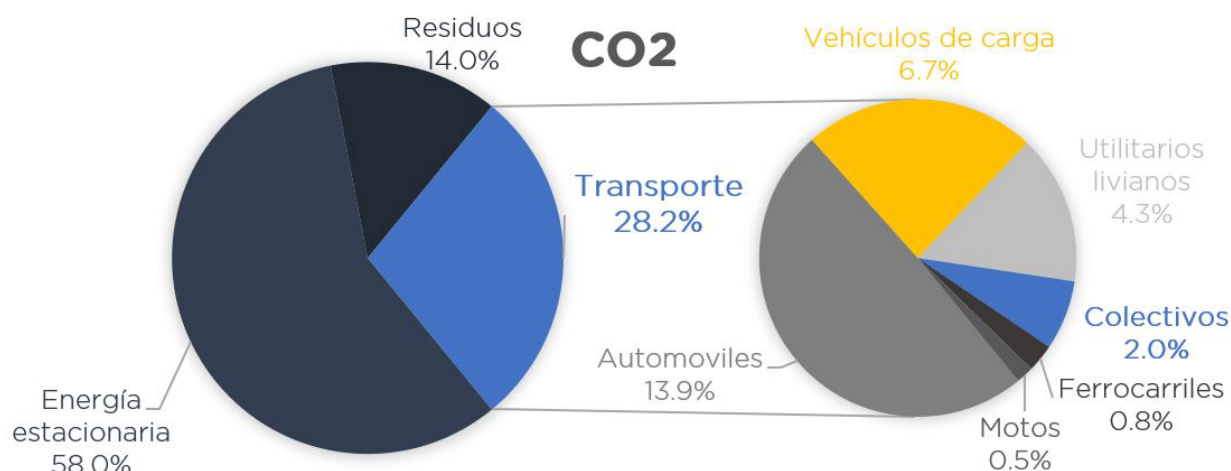


Figura 1. Porcentaje de emisiones de CO2 para los diferentes sectores de transporte de CABA. Fuente: Plan de Movilidad Limpia, 2017.

Dado que los medios de transporte son una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y de agentes contaminantes, resulta fundamental ahondar en el estudio de alternativas que busquen reducir el impacto sobre el medio ambiente y la salud de la población urbana.

Los colectivos diésel que circulan en el territorio de la CABA son una fuente significativa de contaminación. Si bien son responsables solamente del 2% de las emisiones de CO₂ dentro del sector transporte de la CABA, éstos representan el 12% y 21,8% de las emisiones de óxidos nitrosos y material particulado, respectivamente (ver Figura 2 y Figura 3).

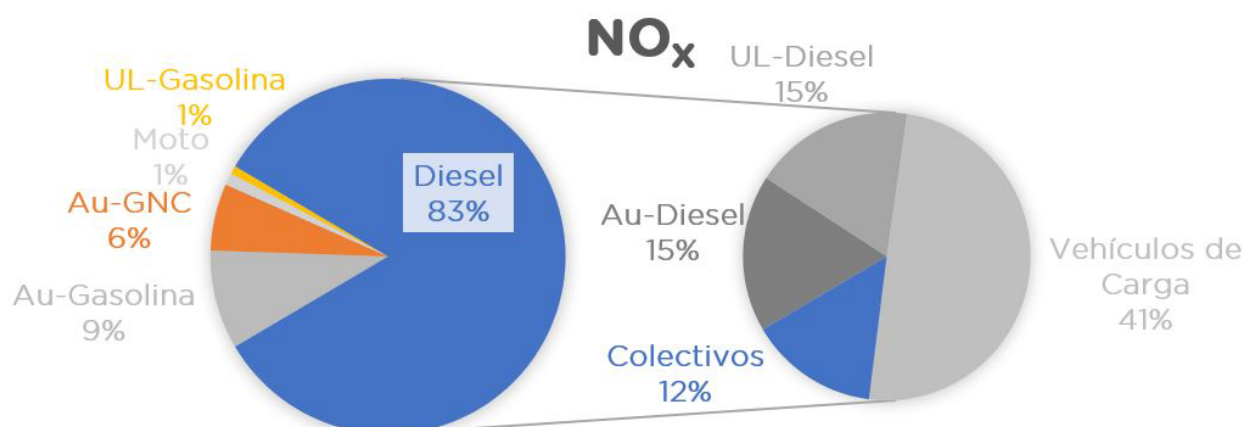


Figura 2. Porcentajes de emisiones de NOx por combustible y rubro, para la flota de vehículos automotores de CABA. Fuente: Plan de Movilidad Limpia, 2017.

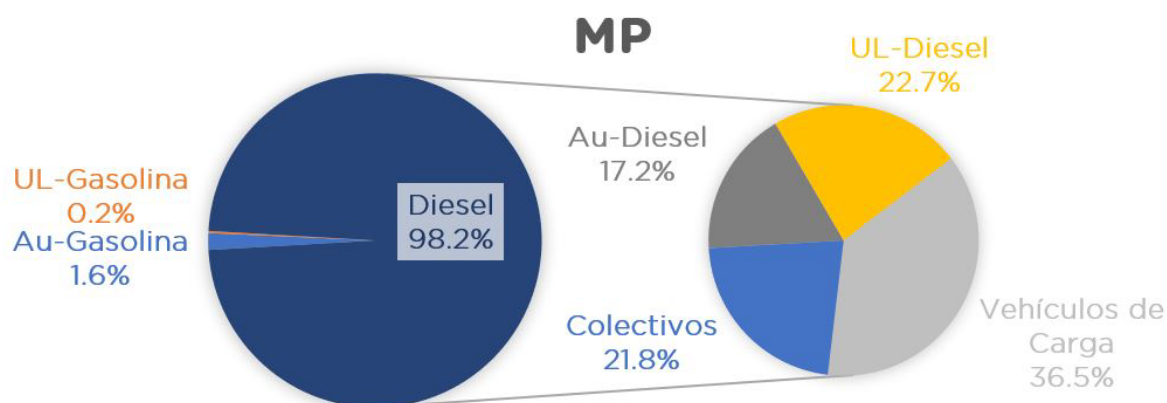


Figura 3. Porcentajes de emisión de MP10 por combustible y rubro, para la flota de vehículos automotores de CABA. Fuente: Plan de Movilidad Limpia, 2017.

En línea con el Plan de Movilidad Limpia se creó el programa de Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos (Resolución N°634/SECTRANS/17)² cuyo objetivo es evaluar la viabilidad técnica, operativa, económica, y ambiental de buses bajas emisiones, así como también, analizar la escalabilidad de las tecnologías. Este programa tiene como objetivo fomentar la eventual penetración de estas tecnologías en el transporte público de pasajeros por automotor, para generar un impacto positivo en los niveles de emisión de gases del sector de transporte público.

² Al cuál el Ministerio de Transporte adhiere mediante la Resolución: RESOL-2018-720-APN-MTR.

1.2 Prueba piloto

En este informe se abordará el resultado de la Prueba Piloto de dos colectivos eléctricos que estuvieron en circulación durante 12 meses, operados por la Línea 59, comenzando en mayo de 2019³. Esta prueba se realizó con el fin de entender el comportamiento de la tecnología, sus costos y beneficios para generar las condiciones e incentivos adecuados para su posible incorporación.

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que forma parte de la Región Metropolitana de Buenos Aires (en adelante, la RMBA) circulan 135 líneas de colectivos, totalizando a diciembre de 2020, 9.645 buses urbanos. Una de estas líneas, la Línea 59, incorporó dos colectivos eléctricos a su parque móvil que realizaron el mismo recorrido que cualquier otro interno de la línea para asimilar una condición operativa típica de la misma. Con la finalidad de comparar el desempeño entre los colectivos eléctricos y los convencionales propulsados a diésel, se estudió la operación y la performance de ambas tecnologías.

La principal motivación para incentivar el uso de vehículos eléctricos para el transporte de pasajeros en la ciudad es su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero y gases tóxicos en zonas densamente pobladas. No menos importante es su impacto positivo en el ruido. Vale aclarar que por “gases tóxicos” nos

³ Las Resoluciones de Nación RESOL-2018-720-APN-MTR y RESOL-2019-284-APN-MTR, por las cuales Nación adhirió al Programa de CABA y autorizó la prueba; le puso el plazo de un año desde mayo del 2019.

A través del Decreto N°51, de fecha 16 de enero de 2018, por el que el Gobierno Nacional estableció una reducción al derecho de importación de extrazona a las operaciones que involucren ómnibus eléctricos que tengan por finalidad evaluar, con carácter experimental, la viabilidad técnica, operativa, económica y ambiental respecto de su inclusión en la flota de transporte público de pasajeros. El artículo 10 del mencionado Decreto N°51/2018 determinó que el MINISTERIO DE TRANSPORTE precisaría el alcance de las evaluaciones, definiendo un plan específico de Prueba Piloto de Ómnibus Eléctricos.

Además, el Decreto N°26 de fecha 7 de enero de 2019, incorporó como segundo párrafo del artículo 1° del Decreto N°779 de fecha 20 de noviembre de 1995, la posibilidad de exceptuar de la aplicación de sus normas a las pruebas experimentales. Que, además facultó al MINISTERIO DE TRANSPORTE a autorizar la realización de pruebas experimentales en la medida en que se desarrollen por un período de implementación de hasta TRES (3) años, y de acuerdo a lo previsto en materia de seguridad, medio ambiente y preservación de los caminos y obras de arte que autorice previamente el MINISTERIO DE TRANSPORTE.

Por otra parte, el Decreto N°656 de fecha 29 de abril de 1994 y sus modificatorios aprobó el Régimen Nacional para el Transporte por Automotor de Pasajeros de carácter Urbano y Suburbano que se desarrolle en el ámbito de la jurisdicción nacional. Por ello la SUBSECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE del GOBIERNO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES solicitó al Estado Nacional, por medio de la Nota N° NO-2019-10895838-GCABA-SSTYTRA de fecha 8 de abril de 2019, autorización para incorporar los buses eléctricos como parte de las pruebas piloto que se desarrollarán en el ámbito de la jurisdicción de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

referimos principalmente a óxidos nitrosos y material particulado. En las siguientes secciones se exponen los resultados de la Prueba Piloto y se compara el performance de los buses de tecnología alternativa con los buses convencionales diésel operando bajo las mismas condiciones. Para ello se realizaron tres tipos de análisis, uno técnico-operativo, uno económico y otro ambiental. La Tabla 1, a continuación, muestra algunos aspectos generales de la prueba.

Tabla 1. Información básica sobre la prueba realizada. Elaboración propia.

Fabricante	Línea	Inicio de la Prueba	Fin de la Prueba	Tecnología	Proveedor
Yutong	59	19/5/2019	19/5/2020	Eléctrico	Colcar

1.3 Preparación de la prueba piloto

Previo al análisis específico de la prueba, resulta interesante detallar las tareas realizadas para la puesta en marcha de los colectivos eléctricos. Este proceso brindó conocimiento al sector (como la administración pública local y nacional, el sector privado de transporte, de los organismos de control, entre otros) sobre los requerimientos y procedimientos necesarios para introducir tecnología alternativa al sector de transporte público. La información obtenida en esta prueba resulta útil para abordar este ejercicio en futuros proyectos relacionados.

En primer lugar, se estudió la compatibilidad de los colectivos eléctricos ofrecidos por la concesionaria COLCAR con la operación de la Línea 59. Es decir, se verificó que la autonomía de las unidades eléctricas cubriera los kilómetros diarios recorridos por la línea; se comprobó la disponibilidad de potencia y lugar en cabecera para la instalación de un cargador; se estudió la estrategia de carga más eficiente para que los colectivos se incorporen a la flota sin causar mayores inconvenientes a la operación diaria de la línea; entre otras.

Para la puesta en marcha de la prueba piloto, fue necesario la habilitación de las unidades para poder circular en la vía pública. Los organismos de la administración pública que participaron en este proceso fueron el Ministerio de Producción de la Nación, en colaboración con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), quien participó en la homologación de los vehículos, la aprobación de la Licencia de Configuración de Modelo (LCM) y la Licencia de Configuración Ambiental (LCA) y la Constancia Técnica (CT). Por otro lado, la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), quien habilitó los colectivos para que puedan ser utilizados en los recorridos de la Línea 59. Se tuvieron que sortear muchas barreras para poder habilitar los buses, ya que, la normativa vigente no se ajusta a los parámetros de la tecnología eléctrica. Este punto es fundamental, y la Prueba Piloto no solo pone en evidencia el funcionamiento del bus, sino también el marco normativo actual que actúa como un obstáculo para la incorporación de las unidades eléctricas. Fue necesario estudiar la

normativa vigente, y adaptar las regulaciones a las nuevas tecnológicas. Ello como instancia previa a la habilitación de las unidades alternativas.

Una vez habilitadas ambas unidades para circular en operación normal, fue necesaria la instalación de los cargadores para la recarga de las baterías en el predio de la cabecera de la Línea 59 ubicado en la calle Luna 1297, de la CABA. Por su parte, el GCABA realizó la obra civil para la instalación de potencia requerida, y Edesur - empresa de distribución de la energía eléctrica en la zona - realizó la obra eléctrica. La potencia instalada fue de 170 kW ya que el cargador demanda 150 kW, y a eso se suma el consumo de la empresa correspondiente a las oficinas y a la energía requerida por la playa de estacionamiento y guarda para su habitual funcionamiento. La obra civil y eléctrica, para la instalación de potencia y cargador, duró 4 meses de principio a fin⁴. En paralelo, se realizaron capacitaciones a todo el personal involucrado en la prueba piloto, desde trabajadores de la Línea, empleados del GCABA y personal de la empresa COLCAR, a partir de información obtenida por parte del fabricante de los colectivos. Una vez habilitadas las unidades de colectivos eléctricos e instalado el cargador en cabecera, se completó la instalación de las validadoras SUBE a las unidades, y el 19 de mayo de 2019 comenzaron a circular.

Desde el día que se presentó la propuesta de la empresa a la convocatoria del Programa de Prueba Piloto, hasta la puesta en marcha de los colectivos, transcurrieron 18 meses. Durante estos meses se resolvieron cuestiones imprevistas sobre la marcha, en su mayoría legales; como la reducción al derecho de importación en operaciones vinculadas a la evaluación de colectivos eléctricos, el desarrollo de decretos para exceptuar de las normas a las pruebas experimentales de vehículos alternativos, habilitaciones para poder circular y transportar pasajeros en la vía pública, entre otras. Y algunas dificultades técnicas, como construir un recinto especial para la zona de recarga para la protección de las estaciones de carga frente a las lluvias, granizo y posible material en suspensión el cual consistió de un galpón reticulado dentro de donde se colocaron las estaciones sobre pilares de cemento que les diesen elevación y separasen del piso para evitar también posibles daños por inundación, también seleccionar el espacio dentro de la cabecera donde estarían ubicadas las estaciones y los colectivos para la carga, entre otras. Este camino sirvió para identificar con precisión cuales fueron los obstáculos que existieron para incorporar esta tecnología al sistema de transporte.

El uso de la telemetría fue clave ya que transmitió en vivo el performance de las unidades. De todos modos, cabe también destacar la importancia de haber concurrido en forma presencial a la cabecera de la Línea donde las unidades operaban periódicamente. Esto ayudó a describir las vivencias e inconvenientes que suceden en el trabajo diario de la Línea. Las visitas presenciales sirvieron para comprender la manera de operar de una flota de buses en la CABA, los desafíos imprevistos y el

⁴ "PRUEBA PILOTO BUSES DE BAJAS DE EMISIONES - CORREDOR NORTE" - Licitación Privada Obra Menor N°26-SIGAF/2018: Expte. N°2018-09986399-MGEYA-DGIT.

dinamismo necesario para solventarlos. De esta manera se percibió y se entendió realmente el resultado operativo de la prueba. Fue importante haber tenido conversaciones permanentes con los choferes de los colectivos, con los encargados de realizar las cargas de las baterías, y con todos aquellos relacionados en la operatoria de las unidades que se analizaron para recabar toda la información para el análisis.

2. Análisis técnico y operativo

En esta sección se detallarán las características de los servicios de la Línea, así como las características técnicas de ambos colectivos. Luego, se describirá la metodología utilizada para el monitoreo y seguimiento operativo de las unidades. Finalmente, se mostrarán los resultados obtenidos del seguimiento y estudio de la Prueba Piloto. Además, se incluyen comentarios y observaciones que surgieron durante la prueba.

La Prueba Piloto estaba planificada para funcionar durante un año, comenzando en mayo de 2019 en la Línea 59. Debido a razones de fuerza mayor, ocasionadas por la pandemia causada por el virus COVID-19, los últimos meses de la operación sucedieron en condiciones atípicas. Las diversas medidas adoptadas por los Gobiernos Nacionales y Locales, para evitar la propagación del virus COVID-19 (ver ANEXO 7.4), resultaron en una menor demanda de transporte público y reducción del tráfico en la vía pública. Sin embargo, la información recolectada desde el inicio de la prueba piloto hasta momentos previos, a las medidas adoptadas por la pandemia, fue de utilidad para caracterizar y analizar el performance técnico-económico-ambiental de ambos colectivos eléctricos y compararlos con unidades diésel.

2.1 Operación de la Línea 59

Las condiciones operativas y características de los servicios de la línea son factores muy influyentes en el performance operativo de un colectivo. La carga de pasajeros, el uso del aire acondicionado, la extensión de los recorridos, la velocidad comercial, entre otros, pueden generar variaciones importantes en el consumo de combustible de los vehículos. Por ello, es importante caracterizar los servicios de la línea operadora de los colectivos en cuestión.

La Línea 59, operada por la empresa MICROÓMNIBUS CIUDAD DE BUENOS AIRES S.A. - cuenta con un total de 110 unidades diésel marca Mercedes-Benz, en su mayoría de 12 metros, con una antigüedad promedio de 1,5 años. En la Figura 4 se muestran los 4 recorridos de la línea, que unen Estación Buenos Aires (Barrio de Barracas, CABA) con la localidad de La Lucila (AMBA). La Línea también cuenta con un servicio “expreso”, que circula por la Autopista Illia, el cual a los efectos de esta prueba piloto no fue utilizado. Es importante remarcar que la Línea tiene un recorrido más corto hasta la localidad de Vicente López (Recorrido C - se observa entre puntos

rojos en la Figura 4). Los buses eléctricos comenzaron haciendo el Recorrido C en los primeros meses, y luego se incorporaron en el recorrido hasta La Lucila.

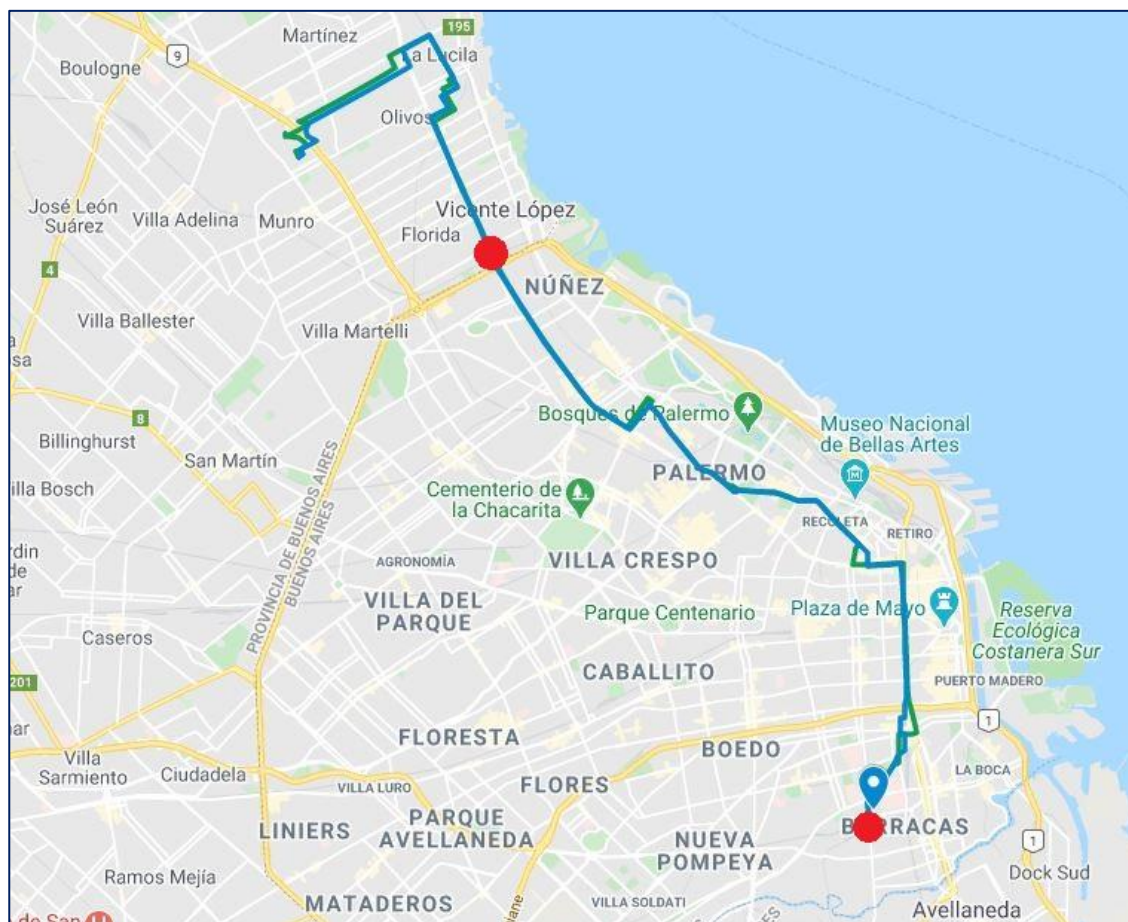


Figura 4. Recorridos realizados por los colectivos en la Línea 59. Elaboración propia.

A continuación, se exponen las distancias promedio recorridas por cada una de las unidades de la línea. Se habla de “turnos” para referirse a la duración de una jornada laboral completa de un conductor, por ejemplo, “turno mañana” o “turno tarde”, y suelen durar entre 8 y 9 horas. En general, los colectivos circulan durante 16 horas por día (en algunos casos más), es decir, realizan dos turnos por día. Esta información se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Distancia que típicamente recorren los colectivos de la Línea 59. La vuelta “corta” es el recorrido que va desde Barracas hasta el punto rojo en la figura 4 y la vuelta “larga” es el recorrido que va desde Barracas hasta La Lucila. Elaboración propia.

Línea / Vuelta	Distancia por vuelta [km]	Vueltas por turno	Turnos por día	Distancia por día [km]
59 / Corta	40	3	2	240
59 / Larga	60	2	2	240

2.2 Especificaciones de los colectivos eléctricos

El modelo utilizado para ambos colectivos eléctricos en la Línea 59 es un Yutong E12 de 12 metros de largo con una capacidad de batería de 324 kWh y una potencia máxima de 292 CV. A continuación, se muestra una imagen del modelo utilizado.



Figura 5. Imagen del colectivo eléctrico: utilizado en la prueba dentro de la Línea 59.

Ambos colectivos cuentan con 29 asientos disponibles y una capacidad máxima de 70 pasajeros, igual a los convencionales diésel utilizados por la Línea. Su principal diferencia en las especificaciones técnicas es el peso de la unidad, que, con 14.000 kg en vacío, el colectivo eléctrico es 3.500 kg más pesado que el diésel convencional, debido a la presencia del pack de las baterías. Este mayor peso se debe a la menor densidad energética de las baterías frente a los combustibles fósiles, esto

quiere decir, que un kilogramo de batería tiene la capacidad de almacenar menos energía que la disponible en un kilogramo de diésel. Esto es un factor muy importante a tener en cuenta ya que el peso máximo de carga al pavimento permitido por ley⁵ puede implicar una limitante a la hora de cargar pasajeros y así no excederse del peso máximo permitido. Además, el aumento de peso de los vehículos impacta directamente en el consumo energético, limitando su autonomía, como se verá más adelante.

2.3 Metodología de seguimiento

Con el objetivo de obtener los datos para evaluar los vehículos se utilizó un registro manual de planillas, creado por el equipo técnico del GCABA y administrado por parte del personal de la línea, quienes llevaron registro y anotación diariamente. En otras palabras, los choferes de las unidades eléctricas registraban manualmente en cada vuelta el horario de salida y llegada, el estado de carga y el kilometraje realizado. Se completaron esos datos para cada vuelta, en todas las jornadas durante un año de operación. A continuación, en la Figura 6 se ejemplifican los datos relevados en una jornada de trabajo normal. Además, se utilizó una plataforma de telemetría en línea provista por el fabricante de los colectivos eléctricos para comparar y validar los registros manuales. Los datos fueron registrados tanto para los colectivos eléctricos como para algunos internos diésel.

⁵ Ley Nacional 24.449 – Ley de Tránsito (1994). <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/818/norma.htm>

COCHE 113		AD667GL		
FECHA		05-09-19		
CHOFER				
SAL	TM	HORA	% CARGA	KM
VUELTA 1	CARGA INICIAL	4:32	100%	19739
	CARGA FINAL	5:00	77%	19796
VUELTA 2	CARGA INICIAL	5:13	77%	19796
	CARGA FINAL	11:00	59%	19853
VUELTA 3	CARGA INICIAL			
	CARGA FINAL			
INTERVALO CARGA 2 HS.		TIEMPO CARGA		
CHOFER				
SALIDA TT	Si	HORA	% CARGA	KM
VUELTA 4	CARGA INICIAL	14:12	98%	19853
	CARGA FINAL	18:00	80%	19912
VUELTA 5	CARGA INICIAL	18:30	80%	19912
	CARGA FINAL	22:10	68%	19969
VUELTA 6	CARGA INICIAL			
	CARGA FINAL			

Figura 6. Planilla manual tipo para recolección de datos, día 5/9/2019. Elaboración propia.

2.4 Resultados de la prueba

Durante toda la prueba, las dos unidades (identificadas con los números de interno 113 y 114) recorrieron un total aproximado de 46.750 y 49.100 kilómetros respectivamente. La unidad 113 mostró un consumo energético medio de 0,974 kWh/km, mientras que la unidad 114 consumió en promedio 1,038 kWh/km. La Tabla 3 muestra un resumen de los resultados obtenidos en la prueba.

Es importante remarcar que la implementación de los colectivos eléctricos en la línea se realizó de manera progresiva, debido al desconocimiento de su performance. Comenzaron a circular el 19 de mayo del 2019 ambas unidades, realizando un recorrido más corto. En el turno mañana (8/9 horas aproximadamente) realizaron 120 km (3 vueltas de 40 km c/u), y en el turno tarde la misma cantidad de vueltas cortas por ende, de kilómetros. Ambos realizaban una carga intermedia, de una hora aproximadamente, entre el turno mañana y el turno tarde (alrededor de las 14hs). Al finalizar la jornada, realizaban otra carga nocturna. Es decir, realizaban 240 km diarios con una carga intermedia de una hora a 75 kWh.

Desde el 1^{er}o de agosto de 2019 hasta el 10 de febrero de 2020 la operación fue exactamente igual, con la diferencia que los 120 km de cada turno estaban compuestos por dos vueltas de 60 km. Es decir, por la mañana realizaban dos vueltas de 60 km y una vez completada la carga de una hora los coches salían a realizar dos vueltas más, finalizando el día con 4 vueltas cada unidad y una carga intermedia. Al finalizar la jornada, realizaban otra carga nocturna.

A partir del 10 de febrero de 2020 ambas unidades eléctricas realizaban las 4 vueltas diarias, es decir 240 km cada uno, **sin la carga intermedia**. Finalizada la jornada el estado de carga de los buses solía estar entre 30-20%. Durante este último esquema únicamente cargaban durante la noche.

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos durante la prueba. Elaboración propia.

Línea	Unidad	Distancia recorrida [km]	Velocidad media [km/h]	Consumo específico [kWh/km]	Autonomía media [km]
59	113	46.748	15,6	0,974	266
59	114	49.098	15,4	1,038	250

Es necesario comentar un factor importante que tiene que ver con la vida útil de las baterías. Debido a su composición química y su operación, todas las baterías poseen un proceso de degradación a lo largo del tiempo (Bolun Xu et al, 2016). Esta degradación genera una disminución en la capacidad de almacenar energía reduciendo así la autonomía neta del vehículo. En primera instancia con el consumo medio registrado durante la prueba, la autonomía de ambos colectivos ronda los 250-260 kilómetros. Esta autonomía considera un 80% de la capacidad nominal inicial de la batería ya que es recomendable no bajar de este límite inferior para no acelerar el proceso de degradación. Es decir, el estado de carga nunca debería estar por debajo del 20%. Con esta autonomía registrada y calculada durante el primer año de operación de las unidades estudiadas se asegura la posibilidad de cumplir con la operación normal de la línea ya que su demanda de distancias diarias ronda los 240 kilómetros. Ahora bien, si la batería comienza a degradarse con el paso del tiempo la autonomía del bus se verá disminuida lo que compromete el servicio normal de los buses eléctricos. Más adelante, se detallará un análisis de autonomía en función del tiempo con las estimaciones y factores de deterioro detallados por el fabricante.

2.4.1 Distancia recorrida

Los colectivos eléctricos operados en la Línea 59 registraron una distancia mensual promedio de 4.249 km para la unidad 113 y 4.463 km para el caso de la unidad 114. La Figura 7 muestra la distancia diaria cubierta por ambas unidades a lo largo de la prueba piloto. Como se observa, las unidades recorrieron 230-240 kilómetros diarios con una dispersión muy baja, lo cual es de esperar considerando que el cronograma operativo del servicio es fijo y los buses realizaron o bien 4 vueltas largas, 240 km, o 6 cortas, 240 km.

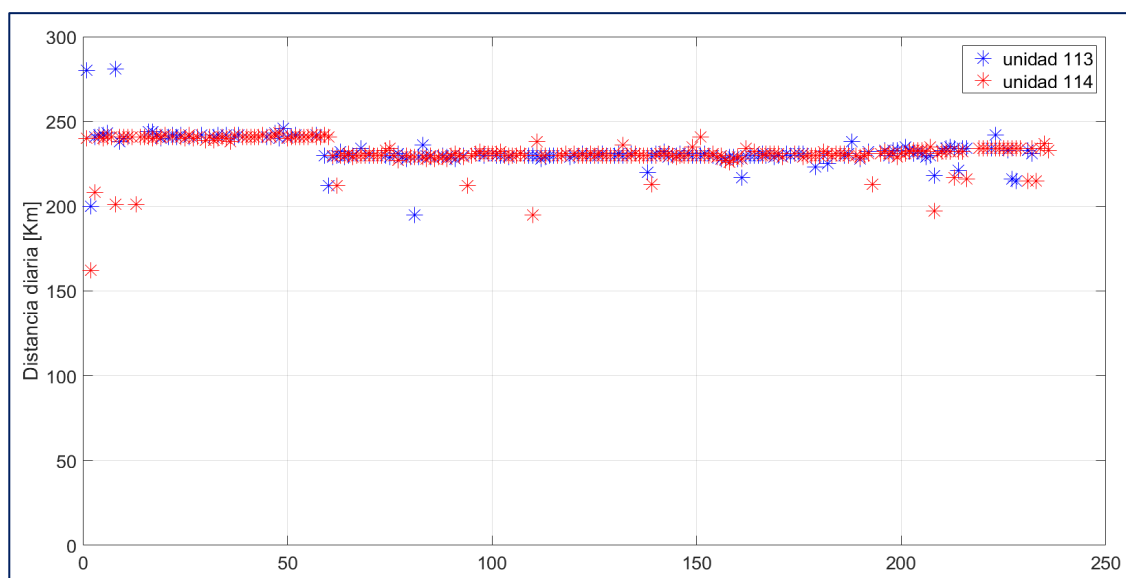


Figura 7. Distancias diarias recorridas por ambas unidades a lo largo de toda la Prueba Piloto. Elaboración propia.

2.4.2 Estado de carga y profundidad de descarga

De los registros de estado de carga de las baterías es posible hacer un análisis de la profundidad de descarga media y su dispersión para entender cómo fueron operadas las unidades. Las siguientes figuras muestran para cada mes la media de la profundidad de descarga (en rojo), los valores dentro del percentil 25 y 75 (en azul) y el rango de descargas registrados (en negro) de las unidades 113 (Figura 8) y 114 (Figura 9), respectivamente.

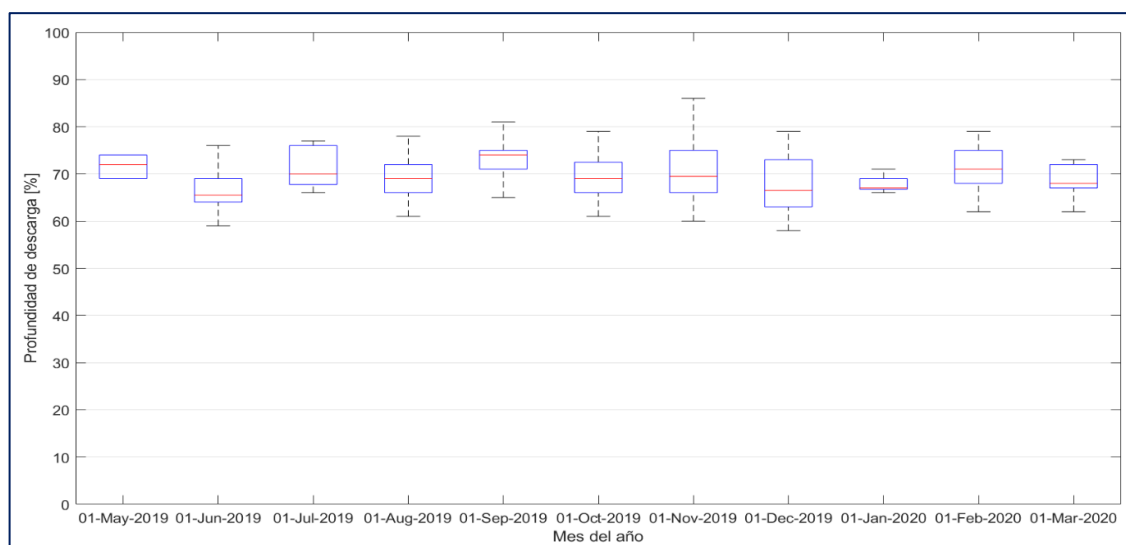


Figura 8. Registros de profundidad de descarga en función del mes de operación para la unidad 113. El gráfico incluye el valor medio mensual, en rojo, el rango de percentil 25%-75%, en azul, y la dispersión de registros dentro del mes, en negro. Elaboración propia.

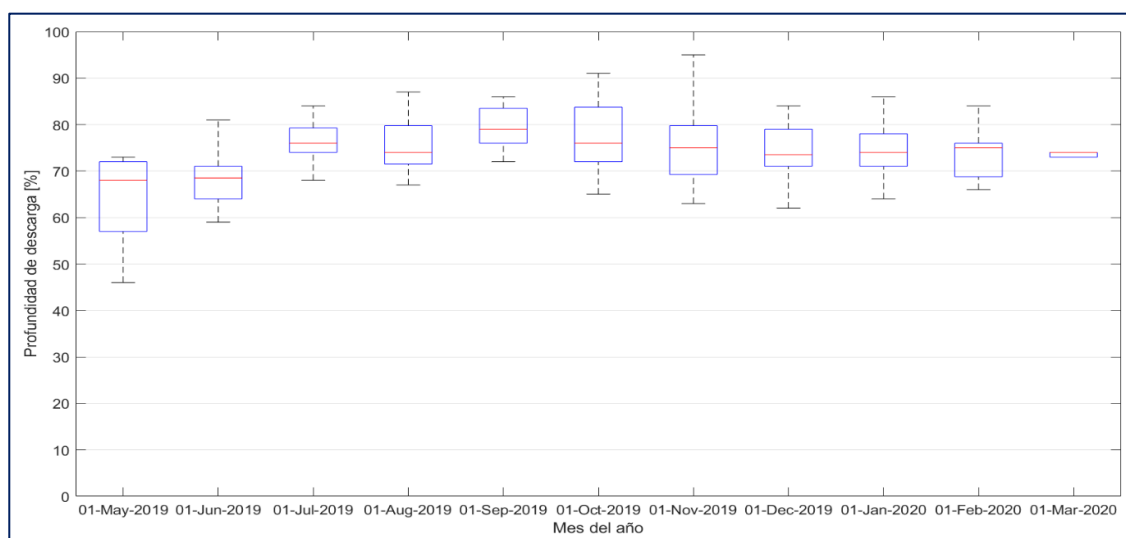


Figura 9. Registros de profundidad de descarga en función del mes de operación para la unidad 114. El gráfico incluye el valor medio mensual, en rojo, el rango de percentil 25%-75%, en azul, y la dispersión de registros dentro del mes, en negro. Elaboración propia.

La Tabla 4 resume los registros de profundidad de descarga de ambas unidades a lo largo de la Prueba Piloto. Como se observa de las gráficas y de la tabla, existe una gran dispersión de profundidades de descarga día a día, mes a mes e incluso entre ambas unidades, con registros diarios de descarga que van desde ~60% hasta ~90%. Esta dispersión se explica por la variación de condiciones operativas que se da en cualquier sistema de transporte público de alta intensidad como lo es el de transporte urbano de colectivos, donde las distancias, carga de pasajeros, uso del aire acondicionado, pueden variar considerablemente entre un día y otro o entre una estación del año y otra.

Tabla 4. Resumen de los registros de profundidad de descarga de las unidades eléctricas a lo largo de la Prueba Piloto. Elaboración propia.

Parámetro	Unidad 113	Unidad 114
Descarga media anual	70%	74%
Máxima descarga media mensual	75%	79%
Máxima descarga operativa registrada	86%	91%
Mínima descarga operativa registrada	58%	60%

Siendo que ambas unidades utilizadas en la prueba son idénticas en cuanto a marca, modelo y antigüedad, y que las dos fueron rotadas en cronograma, choferes e intensidad de uso, llama la atención la diferencia del 4% de descarga media anual entre ambas. En general se observa una mayor descarga operativa en la unidad 114.

2.4.3 Consumo energético

A partir de los registros de distancia diaria, junto con los registros de estado de la batería (SOC) en las entradas y salidas de operación, fue posible calcular el consumo de energía medio diario para cada colectivo, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{esp} \left[\frac{kWh}{km} \right] = DOD * ENPB / DD,$$

donde C_{esp} es el consumo medio diario, DOD la profundidad de descarga de las baterías en el día, $ENPB$ la energía nominal del pack de baterías, equivalente 324 kWh para una batería nueva y corresponde a la capacidad nominal de la batería inicial en kWh y DD la distancia diaria recorrida por el colectivo

Los consumos energéticos diarios calculados a partir de los registros de las unidades 113 y 114 se muestran en la Figura 10. Como se observa, existe una gran dispersión de consumos, en línea con lo observado previamente al analizar las profundidades de descarga de las unidades. Los consumos varían entre ~0.8 y ~1.2 kWh/km con algunos registros inusuales de hasta 1.4 kWh/km.

Del gráfico se observa una leve tendencia a un mayor consumo por parte de la unidad 114, observación que condice con los resultados del análisis de profundidad de descarga.

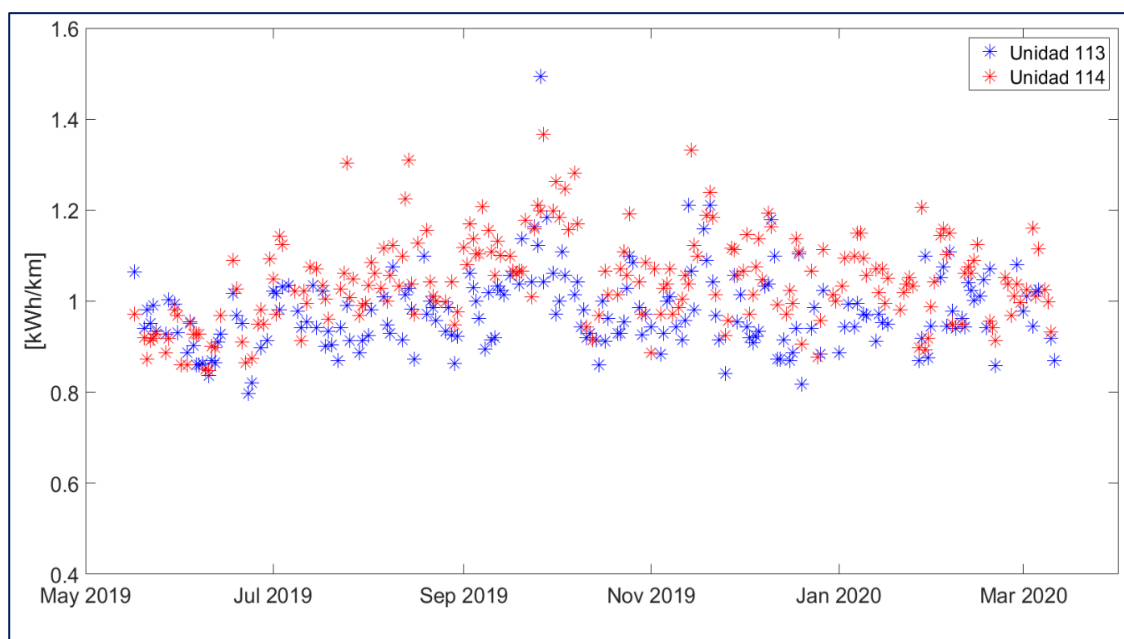


Figura 10. Consumo medio diario de las unidades eléctricas a lo largo del año. Elaboración propia.

La Figura 10 muestra el consumo medio diario de ambas unidades en base al cálculo de promedio mensual. De nuevo, el consumo de la unidad 114 muestra haber sido mayor al de la 113 a lo largo de prácticamente toda la Prueba Piloto.

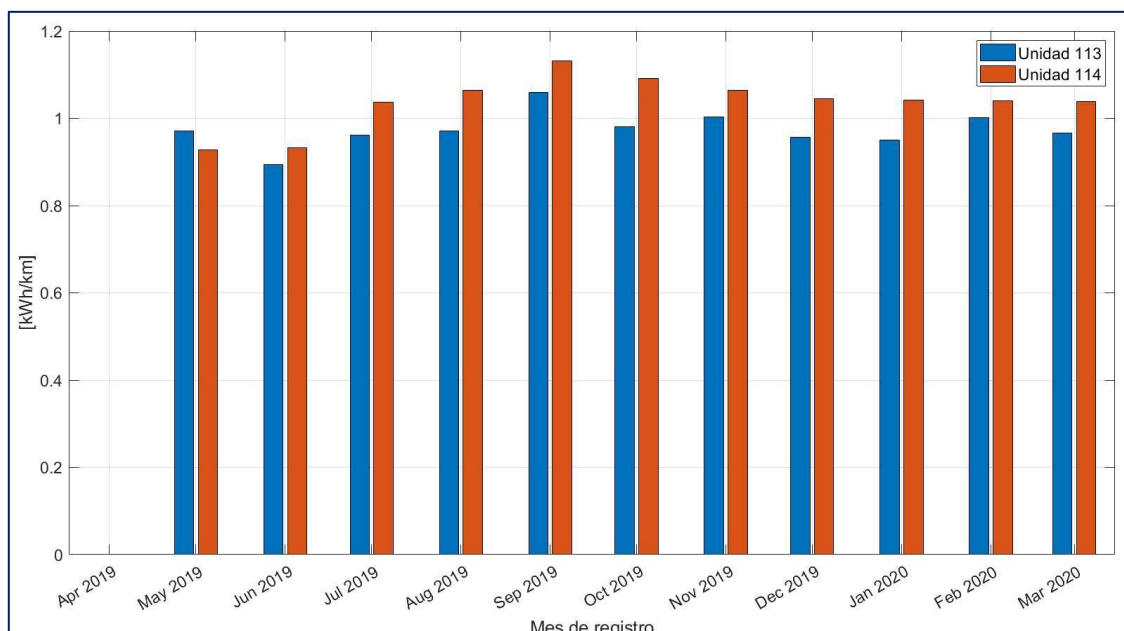


Figura 11. Consumos mensuales promedios calculados con los registros. Elaboración propia.

Del análisis del gráfico no se observa un incremento de consumo en los meses de verano, algo inesperado considerando que los buses cuentan con equipos de aire acondicionado los cuales suelen utilizarse de manera intensiva en la CABA dada la temperatura y humedad ambiente para dichos meses. Por esto, se considera importante seguir monitoreando la performance de estos vehículos a fin de entender su funcionamiento a lo largo del tiempo.

Algunos meses presentaron consumos más bajos que otros, pero no existe información suficiente para respaldar conclusiones que justifiquen las variaciones. En general, la temperatura exterior, la cantidad de pasajeros transportados, y el perfil de manejo de cada conductor son factores que impactan en el consumo de la unidad.

2.4.4 Velocidad media

La velocidad media es un factor que puede tener un gran impacto en la eficiencia de un colectivo. En general, a mayor intensidad de tráfico el vehículo muestra un perfil de manejo más intenso en términos de aceleración y desaceleración, lo que concluye en un incremento de consumo de combustible. En otras palabras, a mayor congestión, menor velocidad comercial es mayor el consumo; por el contrario, con la reducción de tráfico se aumenta la velocidad, el vehículo se mueve con menos dificultad y el consumo disminuye.

La velocidad media de los dos vehículos eléctricos, de la Línea 59, fue alta en comparación con la velocidad estadística de otras líneas de la CABA, con un promedio anual de 15,5 km/h. Esto se explica porque los vehículos, de la Línea en cuestión, circulan por avenidas de poca congestión y cubren un alto porcentaje de su recorrido sobre sistemas Metrobús (aproximadamente el 40% de su traza), lo que permite una condición de manejo mucho más relajada en términos de aceleración y frenada.

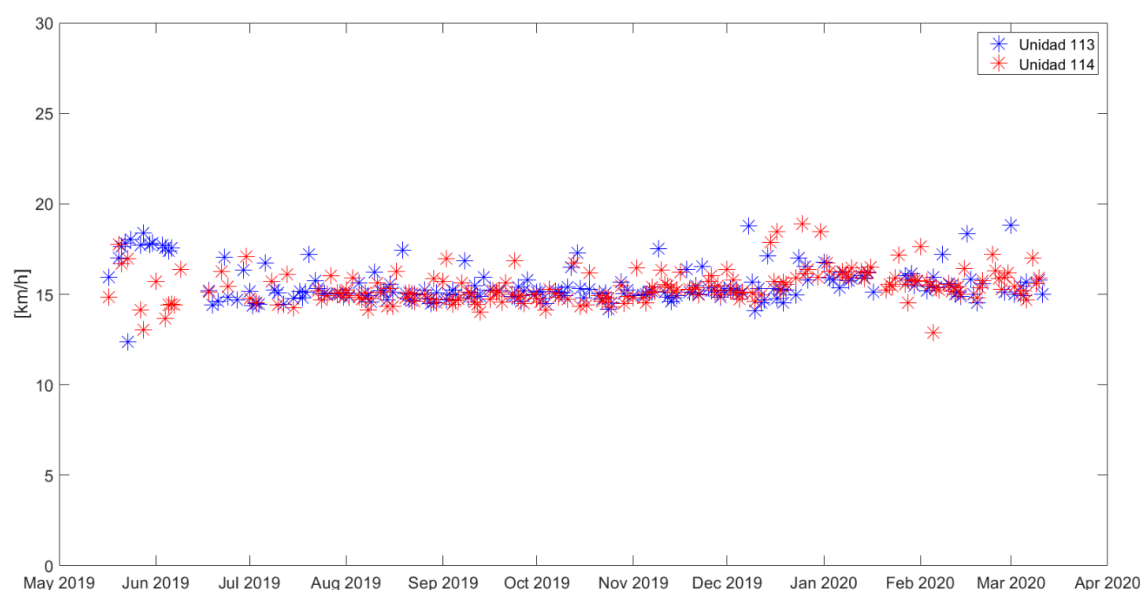


Figura 12. Velocidad media diaria calculada a partir de los registros manuales. Elaboración propia.

La Figura 12 muestra los registros de velocidad media diaria para ambas unidades a lo largo de la Prueba Piloto. Como se observa, la dispersión durante toda la prueba fue baja (aun considerando los meses de Aislamiento Social Preventivo Obligatorio dictado por el Gobierno Nacional por la pandemia ocasionada por el virus Covid-19, ver ANEXO), lo que refleja una condición operativa relativamente homogénea a lo largo del año.

2.4.5 Autonomía

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de consumo, la Tabla 5 muestra el cálculo de autonomía en base al consumo medio y máximo registrado, despreciando eventos inusuales de elevado consumo. Como ya se mencionó, la autonomía se calcula considerando que la batería nunca debe descargarse por debajo del 20% del estado de carga.

Tabla 5. Rango de consumo y autonomía medio y máximo observado durante la prueba piloto. Elaboración propia.

	Medio	Máximo
Consumo	1 kWh/km	1,2 kWh/km
Autonomía*	260	216

* Asumiendo un estado de carga mínimo operativo del 20%

Considerando que el servicio debe cubrir 240 kilómetros diarios, la dispersión de consumo y consecuente autonomía puede representar un problema a la hora de electrificar toda la flota. Bajo esta condición, si el bus presenta un consumo medio diario de más de 1,08 kWh/km, las baterías deberían descargarse por debajo del 20%

sugerido por el fabricante para cubrir el kilometraje diario sin carga intermedia, afectando directamente la vida útil de las baterías. Para sobreponer esta limitación, una solución sería que el bus salga de operación en horas del mediodía (entre turnos) para realizar una recarga de oportunidad. Si se considera convertir toda la flota diésel en eléctrica con estos buses, la carga intermedia exigiría más unidades para cubrir el mismo servicio, ya que en ciertas horas los buses quedan parados para ser recargados, es decir, se necesitarían buses extras para mantener el servicio con este tipo de unidades. Otra alternativa, sería estudiar buses de carga rápida que son más livianos, y realizan cargas de oportunidad en períodos de tiempo corto (15-30 minutos). En conclusión, es sumamente importante entender y estudiar la operación de una línea y las necesidades que tiene que cubrir el servicio para reemplazar los buses diésel por unidades eléctricas que cumplan esos requisitos.

En las secciones anteriores del presente informe se comentó acerca de los procesos de degradación que sufren las baterías. Este proceso ocurre debido a la descomposición química y a los distintos procesos internos de la batería durante el ciclado de descarga y recarga. Tanto la literatura científica⁶, como también la información provista por el fabricante de los vehículos, recomiendan no operar las baterías por debajo del 20% de estado de carga, valor por debajo del cual el proceso de degradación se ve acelerado, afectando la vida útil de las baterías y la autonomía del vehículo.

Se muestran a continuación las estimaciones de autonomía disponible de los colectivos con una degradación anual del 5% (valor especificado por el fabricante) y utilizando un consumo medio registrado entre ambas unidades de 1,02 [kWh/km]. En la Figura 13 se muestra la evolución de la autonomía de los colectivos con el consumo registrado en la prueba piloto y la capacidad de la batería. Este análisis es de utilidad para evaluar en qué año el vehículo deja de cumplir con la operación habitual del recorrido en el cual se utiliza. Para el caso del Recorrido C de la Línea 59, en donde los vehículos recorren una distancia diaria de 240 km, se observa que, a partir del tercer año de operación, los colectivos eléctricos perderían la capacidad de poder realizar la operación sin una carga intermedia. Con los cálculos y estimaciones realizados, se prevé que luego de 10 años de operación las baterías terminarían con una capacidad de 204 kWh y una autonomía media de 160 km.

⁶ Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment. Bolun Xu et al. 2016.

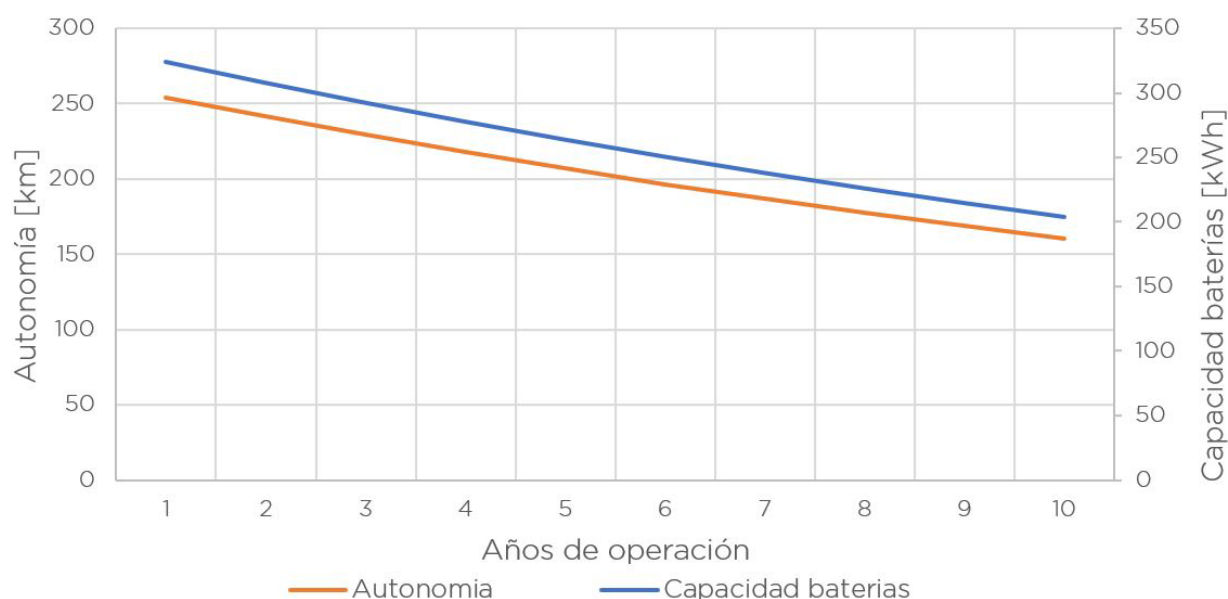


Figura 13. Autonomía en función de los años considerando una degradación de la batería del 5% anual y un consumo medio de 1,02 [kWh/km]. Elaboración propia.

2.5 Mantenimiento

Las tareas de mantenimiento sugeridas por el fabricante (YUTONG) fueron realizadas por la empresa dueña de los vehículos (COLCAR) mientras que la rutina diaria de mantenimiento y limpieza fue realizada por la Línea. Durante el período de prueba (1 año) se realizó el cronograma de mantenimiento sugerido por el fabricante el cual consta de las siguientes tareas:

- Mantenimiento primario: Cada 12.000 km o 2 meses
- Mantenimiento secundario: Cada 24.000 km o 4 meses
- Segundo mantenimiento secundario: Cada 48.000 km u 8 meses

El mantenimiento primario representa un mantenimiento más básico y genérico donde se verifican los componentes de la carrocería y de los ejes de transmisión junto con el cambio de aceite del eje trasero. Por otro lado, en el secundario se realiza una inspección sobre más componentes del vehículo como la carrocería, chasis y componentes eléctricos. El mantenimiento correspondiente a los 12.000 km y 24.000km lo realizó personal de COLCAR junto con personal de YUTONG, lo que llevó a suprimir el mantenimiento de los 36.000km, ya que no se consideró necesario.

Durante el año de la Prueba Piloto, la misma tuvo un desarrollo dentro de parámetros normales, sin complicaciones fuera de lo esperable. En septiembre de 2019 la unidad 114 presentó una avería en la pantalla del conductor y se reemplazó por una nueva. En octubre de 2019, se reemplazó el tanque acumulador de aire en la unidad 113 y en la unidad 114 por rotura (la avería de este componente refiere a un defecto de una partida determinada de los mismos). En febrero de 2020 se reemplazó el pulmón de

suspensión delantero izquierdo de la unidad 113 por rotura, mientras que en la unidad 114 se reemplazaron los pulmones izquierdo y derecho de suspensión delantera por fisura y desgaste. En febrero del mismo año se reemplazaron componentes electrónicos del controlador integrado de la unidad 113. En marzo de 2020 se reemplazaron los fusibles de corte MSD por déficit de aislamiento en el interno mencionado último. Si bien hubo desperfectos, ninguno se consideró grave ni fuera de lo esperable. Los costos los absorbió en parte YUTONG por estar la unidad en garantía, y el resto COLCAR. Considerando los costos de los mantenimientos y las averías extra, el costo por kilómetro que se obtiene del mantenimiento realizado durante el año de la Prueba Piloto es insignificante, muy cercano a cero.

Con respecto a la percepción del operador de la Línea, se ha obtenido una respuesta positiva de su parte, confirmando que los vehículos han sido confiables durante la operación y capaces de realizar el mantenimiento mínimo sugerido.

3. Análisis económico

En esta sección se hará un análisis económico con la finalidad de comparar la estructura de costos asociada a la compra y operación de un bus eléctrico y un bus diésel. Para ello, se calculará el costo total de propiedad (TCO por sus siglas en inglés *Total Cost of Ownership*) de un bus de ambas tecnologías bajo las condiciones operativas específicas del servicio de Línea 59. Las últimas se obtuvieron del análisis técnico-operativo previamente realizado. Dentro de las variables consideradas, o bien componentes que hacen al costo de un bus se consideran los salarios, el combustible, el mantenimiento, la depreciación del material rodante y la infraestructura, patentes, impuestos, seguros y el capital invertido.

Cabe aclarar que el siguiente análisis no debe tomarse como criterio de inversión, sino más bien como una primera aproximación a las variables económicas que intervienen en la elección de una tecnología por sobre otra. Además, los valores utilizados pueden cambiar desde la realización de este informe debido a la variación del valor de la moneda local frente al dólar y a los continuos avances tecnológicos del sector.

3.1 Costo total de propiedad

La estructura de costos para calcular el TCO está basada en la estructura general que el Ministerio de Transporte de la Nación utiliza para el cálculo de subsidios y compensaciones al sistema de transporte público de colectivos⁷. La misma contiene información actualizada y completa sobre los distintos costos y gastos asociados a la operación de las distintas líneas que ofrecen servicio en la ciudad y el área metropolitana.

⁷ Costos e Ingresos Medios de los Servicios de Transporte de Pasajeros Urbanos y Suburbanos de la Región Metropolitana. Período: septiembre 2019. Según surge del Anexo III de la Resolución N° 789 de fecha 05 de diciembre de 2019 del Ministerio de Transporte de la Nación.

Ciertos parámetros de dicha estructura se ajustaron a partir de resultados del análisis técnico-operativo relevados durante la Prueba Piloto, información provista por el fabricante del colectivo y el operador de la Línea, así como los precios del combustible y energía eléctrica. Las principales variables utilizadas en el cálculo se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores utilizados en el análisis económico. Elaboración propia.

LÍNEA	59	
Tecnología	Diésel	Eléctrico
Consumo [L/km] [kWh/km] [m3/km]	0,55	1,00
Distancia diaria [km]	240	240
Días operativos por mes	26	26
Vida útil del bus [años]	10	10
Tamaño de flota	60	60
Precio del bus sin IVA [USD]	\$165.000	\$455.000
Precio energía [USD/L] [USD/kWh] [USD/m3]	0.9	0.13
Precio energía sin IVA [USD/L] [USD/kWh] [USD/m3]	0.71	0.10
Variación de mantenimiento	-	-30%
Tasa de interés del capital invertido	6,55%	6,55%
Valor residual del vehículo	5%	5%
Potencia de recarga [kW]	-	150
Colectivos por estación de recarga	-	2
Infraestructura de Carga [USD]	0	\$25.000

Los precios utilizados para el diésel y la electricidad fueron provistos por el operador de la Línea, el distribuidor de energía eléctrica EDESUR y la Secretaría de Energía. El consumo para cada tecnología se obtuvo con datos reales de operación de la prueba, lo mismo para la distancia diaria y los días operativos por mes. Con respecto a la vida útil de los buses tiene que ver con el máximo permitido por CNRT, no se admiten buses con antigüedad mayor a 10 años. El tamaño de la flota utilizado es el tamaño promedio de las flotas de colectivos en la Ciudad de Buenos Aires, si bien la Línea 59 tiene 120 unidades, no es común. El precio del bus eléctrico tiene que ver con la inversión real que hizo COLCAR para la compra de los buses. Es un monto sumamente elevado, lo que convierte al precio en una de las principales barreras. Se toma un valor residual del 5% y una tasa de interés del capital invertido del 6,55%. Además, se considera una potencia de recarga por cargador de 150 kW, considerando 2 buses por cargador.

Para el mantenimiento se tuvo en cuenta las experiencias internacionales y bibliografía externa sobre buses eléctricos y coinciden en que este tipo de vehículos tienen una reducción en los costos de mantenimiento en un 30%⁸ debido a la menor cantidad de componentes en el tren de potencia y menor desgaste de los motores eléctricos frente a los de combustión. Por ser el primer año de uso de un vehículo 0 km., con las tareas esenciales realizadas por personal capacitado por el fabricante, los costos de mantenimiento no pueden tomarse como referencia para proyectar los futuros años de operación. Con el pasar del tiempo se espera que el mantenimiento tienda a aumentar. Por estas razones, se tomó un costo de mantenimiento teórico por kilómetro que se utilizará en el apartado de “TCO” para comparar la tecnología eléctrica versus el diésel. Si solamente, hubiésemos tenido en cuenta el mantenimiento del primer año de la prueba, el número sería insignificante y poco representativo para el análisis que se busca en este informe.

Con respecto a la infraestructura de carga, se consideró el costo del cargador eléctrico de 150kW a un precio de U\$S 25.000 (referencia de la Prueba Piloto). Para la tecnología diésel la infraestructura es considerada cero. Si bien es cierto que para operar una flota de buses diésel desde un comienzo sin antecedentes de esta tecnología es necesario invertir en infraestructura de carga, esa situación no representa la realidad en la CABA ya que todas las líneas que están operando hoy ya cuentan con infraestructura desarrollada para diésel. En otras palabras, se considera como un costo hundido.

3.2 Resultados del costo total de propiedad

A partir de esta información se construye el TCO, en la Figura 13 se pueden ver los principales costos asociados a la operación y a la compra de un colectivo eléctrico y a otro diésel dentro de la Línea 59. Como se puede observar, hay diferencias entre la estructura de costos del colectivo eléctrico y la del colectivo diésel Euro V. Esta tecnología presenta menores costos operativos (OPEX) asociado principalmente al menor costo de la electricidad frente al diésel. Del cálculo se concluye que la disminución de OPEX no compensa el mayor CAPEX (costo de capital) de la tecnología eléctrica, el TCO de este bus eléctrico es de aproximadamente 1,99 USD/km mientras que para el bus diésel ronda los 1,69 USD/km, es decir el costo por kilómetro de los buses eléctricos durante la Prueba Piloto es un 18% mayor al costo por kilómetro de los buses diésel convencionales que operan en la línea. Corresponde reiterar que en este costo por kilómetro se tiene en cuenta el capital invertido, que es el factor con más incidencia en el cálculo.

⁸ Alves, Bianca Bianchi, et al. Green Your Bus Ride: Clean Buses in Latin America. No. 133929. 2019.

Eudy, Leslie, Matthew Post, and Matthew Jeffers. American Fuel Cell Bus Project Evaluation: Third Report. No. NREL/TP-5400-67209. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States), 2017.

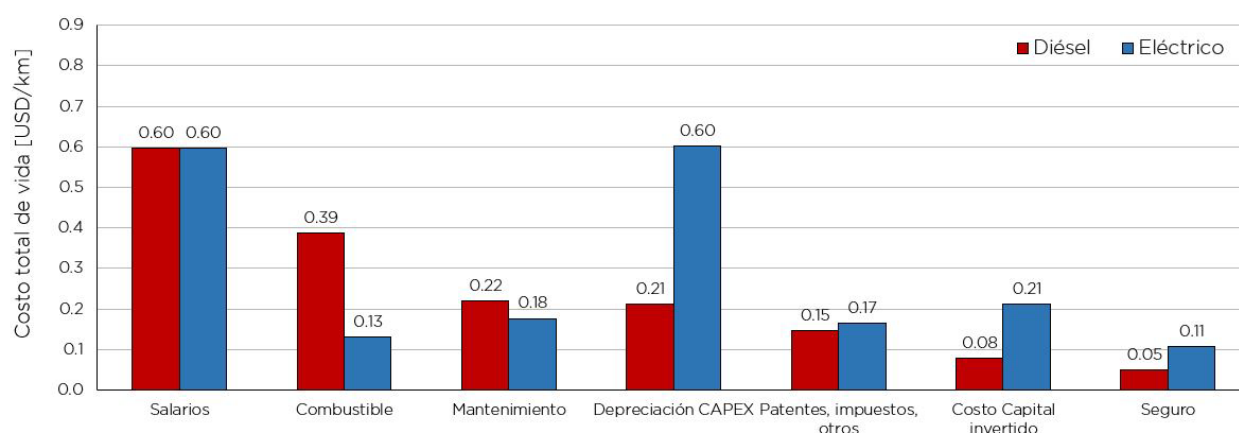


Figura 14. Costo total de vida de un colectivo diésel Euro V y un colectivo eléctrico de carga lenta operando dentro de la Línea 59. Cálculo basado en la estructura de subsidios del gobierno de la ciudad. Elaboración propia.

La Tabla 7 muestra el costo total de propiedad (TCO) de ambas tecnologías, expresado en USD/km.

Tabla 7. Costo total de vida de ambas tecnologías para la operación de la Prueba Piloto para una flota de 60 unidades. Elaboración propia.

Costo total de propiedad	Eléctrico [USD/km]	Diesel [USD/km]
	1,99	1,69

Del análisis económico podemos concluir que el precio del bus y los costos asociados serían una barrera para el ingreso de esta tecnología. Esto puede insinuar un camino que cambie de dirección hacia modelos de negocio más nuevos bajo la óptica del transporte como servicio (“mobility as a service”). Las líneas de crédito correspondientes a fondos verdes serán de suma relevancia junto con políticas claras, sostenibles y de largo plazo para la reconversión de flotas de colectivos.

3.3 Subsidios

Para debatir de los subsidios al transporte se necesita analizar en profundidad como está estructurado el sistema, y se trata de un tema tan extenso como complejo. Como no es el objetivo de este trabajo, pero si, incide directamente sobre los incentivos a la hora de optar por una tecnología sobre la otra, se explica de manera muy breve como reciben los operadores los subsidios.

Para completar el análisis, hace falta contemplar las diferencias en los ingresos entre ambas tecnologías. Considerando que ambos colectivos tienen la misma capacidad de transportar pasajeros, cabría esperar que ambos recauden lo mismo. Sin embargo, dada la estructura de costos y compensaciones (que a través de subsidios reciben los operadores), resulta que, al usar la tecnología eléctrica, así como cualquier combustible que no sea Gasoil convencional, se deja de percibir un porcentaje de subsidio.

En primer lugar, el Estado Nacional aprueba compensaciones tarifarias que se calculan en base a la "METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE COSTOS DE EXPLOTACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO Y SUBURBANO DE PASAJEROS POR AUTOMOTOR DE JURISDICCIÓN NACIONAL DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES" dispuesta por la Resolución Nacional N°37 de fecha 13 de febrero de 2013 del ex MINISTERIO DEL INTERIOR Y TRANSPORTE, sus normas concordantes y complementarias. Además, por otro lado, las compensaciones de los montos al precio de gasoil se determinan en base a los convenios que se celebren entre el Estado nacional y las empresas refinadoras de hidrocarburos donde se establece el precio del gasoil y de los litros efectivamente asignados a las líneas, de acuerdo a lo previamente informado por la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT).

Dicha metodología, también llamada estructura de costos, además, de ser muy característica del tipo de combustible mencionado asume que los operadores compren el gasoil a un precio de mercado ponderado. Luego al momento de calcular el subsidio, la estructura prevé un descuento de \$20 por el 90% de los litros de combustible que se estiman necesarios para cumplir con la totalidad de kilómetros considerados en la misma. El combustible representa un 13,75% de los costos de los operadores según surge de los valores publicados en la última estructura de costos vigentes, al momento de la prueba, para las empresas pertenecientes a CABA. Este descuento en el subsidio, que afecta a todas las prestadoras del sistema independientemente del tipo de combustible que utilicen, se compensa al momento de la carga de gasoil en la boca de expendio, donde la petrolera le descontará \$20 por litro de gasoil adquirido, hasta agotar el stock asignado a la prestadora.

En segundo lugar, la validadora SUBE transmite su geo posición cada determinada cantidad de tiempo en vivo. Esto quiere decir, que se obtienen a partir de la validadora los kilómetros reales que cada línea realiza. Los kilómetros multiplicados por el costo por kilómetro (con diésel subsidiado) da como resultado el costo total de operar. A este costo total se le resta, lo que cada línea recauda, neto de IVA, a través de los boletos y el mencionado monto correspondiente al gasoil a fin de determinar la "Compensación Requerida" prevista en el ANEXO 11 de la Estructura de Costos. De esta manera, según la estructura de costos del gobierno nacional la empresa quedaría con una cuenta de suma 0.

Es necesario reiterar, que esta explicación está sumamente simplificada, porque no tiene como objetivo analizar el esquema de subsidios, sino analizar cómo la misma beneficia/perjudica a la tecnología eléctrica a la hora de ser incorporada por los operadores.

La empresa que analice comenzar a utilizar otra tecnología en sus unidades se encontraría con el siguiente problema: recibe una compensación con un costo por kilómetro que no lo representa y no estará comprando el "combustible" o la energía con un precio diferenciado. Por lo tanto, corresponde concluir que se requiere la

reformulación del esquema de subsidios tarifarios y al gasoil con el objeto de considerar los combustibles alternativos. Ello, para el caso del bus eléctrico, donde vemos que el costo por kilómetro es un 18% mayor al costo por kilómetro diésel, resulta inviable o casi imposible operar mientras siga vigente el actual esquema de subsidios.

4. Análisis ambiental

Luego de analizar los aspectos técnicos y económicos, es necesario evaluar el impacto ambiental que tiene dicha tecnología frente al diésel convencional utilizado en la CABA. En la siguiente sección se mostrarán los aspectos a tener en cuenta para la evaluación objetiva y los resultados en el impacto ambiental, principalmente cambio climático y gases de efecto invernadero. También se proporciona una descripción de los principales contaminantes del aire presentes por la combustión de combustibles fósiles.

4.1 Impacto ambiental: emisiones de GEI

Una manera de medir el impacto ambiental de un medio de transporte es a través del cálculo de su huella de carbono. Es decir, realizando un análisis del ciclo de vida del vehículo y de su funcionamiento considerando los procesos y factores que conllevan. Con esa información se pueden estimar las emisiones de GEI que emite la obtención y el uso del mismo. La huella de carbono de un vehículo está compuesta por los siguientes tipos de emisiones:

- Emisiones embebidas: aquellas producidas durante la fabricación del vehículo, desde la extracción de la materia prima hasta su transporte y conversión en autopartes, así como la energía necesaria para su fabricación.
- Emisiones directas: aquellas producidas durante la utilización del vehículo y durante el consumo del combustible/energía.
- Emisiones indirectas: aquellas atribuidas a la generación y distribución del combustible o la energía eléctrica, cual sea el caso de análisis.

Para facilitar el análisis, sólo se tendrán en cuenta las emisiones de servicio directas e indirectas de los vehículos, ya que las emisiones embebidas se consideran iguales para cualquier tipo de colectivo, haciendo irrelevante su análisis para comparar distintas tecnologías. En este sentido, conviene destacar que los colectivos eléctricos no poseen emisiones de servicio directas ya que el motor eléctrico no produce emisiones in-situ. Sin embargo, si posee emisiones de servicio indirectas de gases de efecto invernadero asociadas ya que la energía eléctrica utilizada es generada y

transmitida con una huella de carbono que depende altamente de la composición de la matriz de generación eléctrica.

Por otro lado, si bien las emisiones tóxicas como NO_x y MP son producidas por las fuentes térmicas de energía, éstas son emitidas en zonas alejadas de las urbes por lo que son contabilizadas como nulas dado su reducido efecto sobre la población de la ciudad en cuestión.

4.2 Matriz energética y factor de emisión

Para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de los vehículos eléctricos, es necesario conocer la composición de la matriz energética. Para el caso de Argentina, se tiene una matriz con preponderancia en la generación térmica (58,9%), seguido de generación por fuentes renovables (32%) dentro de las cuales se incluyen la hidráulica, solar, eólica, entre otras. La Figura 14 muestra la composición de la matriz energética actual de Argentina.

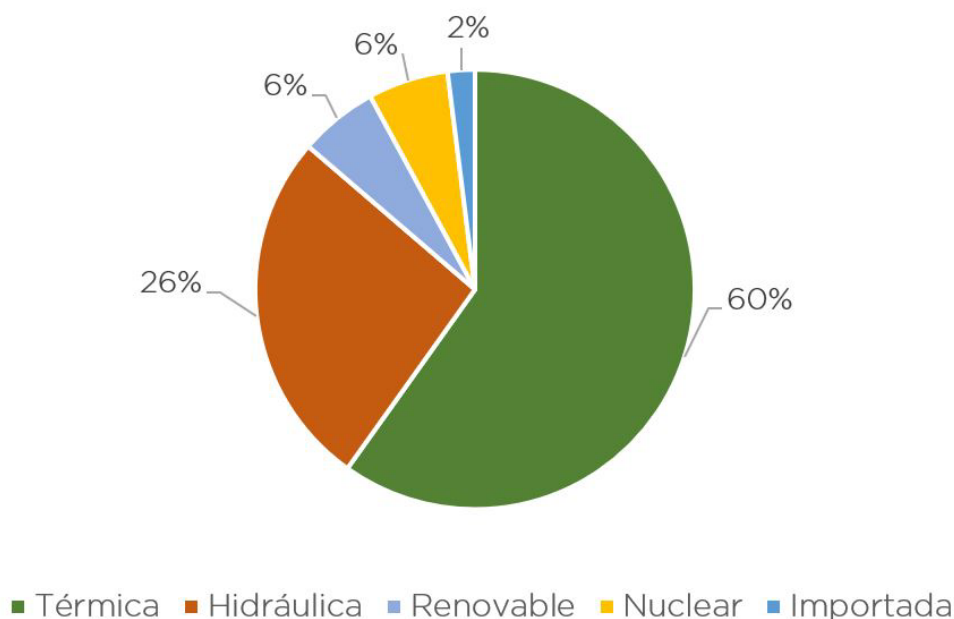


Figura 15. Composición de la matriz energética Argentina (2018).

Teniendo en cuenta cómo se genera la energía en el país puede obtenerse el factor de emisión de gases de efecto invernadero. En base a la información dispuesta por la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía⁹, se estima que el factor de emisión por producción y distribución eléctrica es de 0,4379 [tCO₂/MWh] para el año 2018.

⁹ Secretaría de Energía, Ministerio de Economía de la Nación. Argentina. <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>

4.3 Ciclo completo del dióxido de carbono

Para entender el impacto de los vehículos eléctricos en el cambio climático y su contribución al efecto invernadero, es necesario conocer el ciclo completo de producción de combustible, además de las emisiones directamente asociadas al consumo del combustible de los vehículos equivalentes de otras tecnologías.

Para ello, es necesario cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el proceso de producción del diésel (ver Figura 15). Se toma información de varias fuentes, pero la principal es el GREET (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy in the use of Transportation) desarrollado por el Argonne National Laboratory en 2016. En el GREET se pueden estimar las emisiones de todas las actividades referidas a la producción de combustibles fósiles.

A continuación, se muestra un diagrama con las emisiones correspondientes a cada proceso del ciclo de vida del combustible diésel. Es decir, desde la extracción del recurso natural y los materiales, la manufactura, la distribución y el uso del producto. El factor resultante será utilizado para el cálculo de la reducción de emisiones de CO₂. Este factor sirve para utilizar una misma unidad de comparación entre las emisiones de GEI de las distintas tecnologías, y así entender cuál es el impacto de cada una. Se concluye el diagrama con un factor de emisión de gGHG/L (gramos de gases de efecto invernadero) que luego se compara con el factor correspondiente al bus eléctrico.

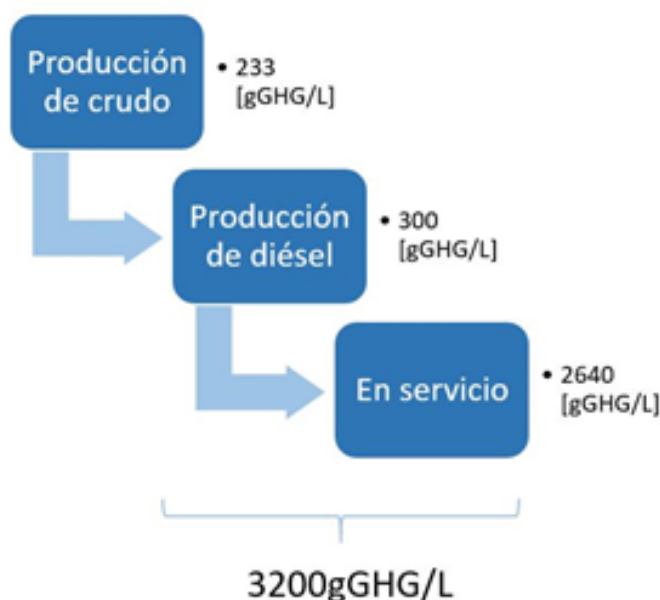


Figura 16. Emisiones correspondientes a cada proceso del ciclo de vida del combustible diésel. (gGHG se refiere a los gramos de gases de efecto invernadero que se emiten).

4.4 Calidad del aire: agentes tóxicos

Llamamos agentes tóxicos a aquellos gases que emiten los vehículos que son perjudiciales para la salud humana y nocivos para el medioambiente. Estos gases son generados en los cilindros de los motores durante la combustión y la generación de cada uno de ellos depende de diversas variables en dicho proceso, los cuales se comentarán en cada sección para cada uno. Si bien algunos de estos gases también contribuyen al cambio climático, son especialmente dañinos para las vías respiratorias de las personas, entre los más comunes se encuentran los óxidos nitrosos y el material particulado¹⁰. A continuación, se describen cada uno de ellos para entender el potencial beneficio de reducir las emisiones de dichos contaminantes.

4.4.1 Óxidos nitrosos

Cuando hablamos de óxidos nitrosos nos referimos al óxido nítrico (NO), y al dióxido de nitrógeno (NO₂). El óxido nítrico es un gas incoloro, inodoro, no inflamable, y poco tóxico. Mientras que, el dióxido de nitrógeno es un gas pardo-rojizo tóxico, que provoca daños al aparato respiratorio. Cabe señalar, que el óxido nítrico puede oxidarse en dióxido de nitrógeno con facilidad una vez en contacto con la atmósfera. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el NO₂ causa síntomas de bronquitis en niños asmáticos, y afecciones pulmonares. También este gas contribuye a la formación de aerosoles de nitrato, formando una importante fracción en el Material Particulado 2.5 (PM_{2.5}).

4.4.2 Monóxido de carbono (CO)

Otro elemento de interés que no fue analizado en esta prueba pero que podría tenerse en cuenta en futuros trabajos, es el Monóxido de Carbono (CO). Este gas es uno de los contaminantes más perjudiciales para la salud humana cuando se encuentra en una alta concentración y en espacios cerrados. Su toxicidad proviene de su interferencia a la función principal de la hemoglobina (hemoproteína de la sangre): transportar oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos, de este efecto, se derivan múltiples enfermedades cardiovasculares. Dicho gas puede tener consecuencias en terminales de colectivos poco ventiladas donde el personal está circulando entre los vehículos para distintas tareas. Además, el monóxido de carbono luego es fácilmente oxidable en la atmósfera para generar CO₂ y NO₂ con el nitrógeno disponible en el aire.

4.4.3 Material Particulado (MP)

El material particulado (MP), consiste en partículas sólidas y líquidas de sustancias que se encuentran suspendidas en el aire. Este es emitido por los motores

¹⁰ Para dicha sección, se utiliza de referencia el GREET. Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy in the use of Transportation) desarrollado por el Argonne National Laboratory en 2016.

diésel y consiste principalmente en compuestos orgánicos volátiles (COV) definidas como partículas de hollín carbonáceas y pequeñas cantidades de cenizas carbonáceas. El transporte aporta un mayor porcentaje de emisiones de MP2.5 (correspondiente a partículas más finas respecto al MP10, que se da mayormente en procesos mecánicos como las obras en construcción). Los efectos en la salud son amplios, pero afectan en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Según la OMS, el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición tanto breve como prolongada. El material particulado puede penetrar hasta los pulmones y sus efectos dependen de su composición química.

La emisión de material particulado se debe principalmente al tipo de combustión de los motores diésel, esto quiere decir, combustión controlada por difusión ya que se generan zonas, dentro de la cámara de combustión, que promueven la generación de dichas partículas. De la misma manera que ocurre con los otros gases contaminantes, se obtiene una reducción total de este gas debido a la utilización de un motor eléctrico sin emisiones.

4.4.4 Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son sustancias que contienen hidrógeno y carbono, su estructura molecular depende del número de átomos de carbono que forman la molécula. Hay hidrocarburos con alto peso molecular que están presentes en el material particulado que proviene de la combustión, la mayor presencia de HC en los gases de escape indica que el combustible se está quemando de forma incompleta. Si bien en la combustión de los motores diésel se da con mezcla pobre (mayor relación de oxígeno que la estequiométrica) siempre hay una pequeña fracción de HC no quemados. Los compuestos de las diferentes fracciones de los hidrocarburos pueden tener diversos efectos en la salud de las personas. Por ejemplo, algunos compuestos como el benceno, tolueno y xileno, pueden afectar al sistema nervioso. Dependiendo del tipo y cantidad de sustancias químicas, del tiempo de exposición, de la persona, entre otros, será el efecto.

En lo que respecta a emisiones contaminantes del aire, la utilización de un colectivo eléctrico implica una reducción total (100%) de dichas emisiones, debido a la utilización de motores eléctricos. Por lo tanto, uno de los grandes impactos que tiene dicha tecnología en las ciudades, es la mejora en la calidad del aire y en la salud de las personas. Dicho efecto, tiene mayor impacto en ciudades densamente pobladas ya que impacta positivamente en la salud de un mayor número de personas.

4.5 Reducción de gases efecto invernadero

Conociendo el consumo específico de los colectivos, tanto de los eléctricos como de los convencionales utilizados por la línea, y la huella de carbono asociada a la matriz energética y al proceso productivo del combustible diésel, es posible calcular las toneladas abatidas de dióxido de carbono al incorporar la tecnología alternativa.

Tabla 8. Emisiones de CO₂ anuales para ambas tecnologías. Elaboración propia.

Tecnología	Factor de emisión	Energía anual consumida	Toneladas CO ₂ por bus
Eléctrico	0,4379 [tnCO ₂ /MWh]	34,43 [MWh]	15,08
Diésel	3.200 [g/Litro diésel]	41.184 [Litros diésel]	131,79

A partir de los valores registrados en la Tabla 8, se pueden calcular las toneladas de CO₂ abatidas por la utilización de esta tecnología (colectivos eléctricos) resultando en una reducción de 116,6 toneladas anuales por colectivo. Este valor representa una disminución del 88% de emisiones respecto a la utilización de un colectivo convencional propulsado a diésel.

5. Conclusiones

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires es la ciudad más poblada de la Argentina, alrededor de 3 millones de personas la habitan. Al igual que otras grandes ciudades del mundo presenta una compleja infraestructura. Esto hace que tenga importantes desafíos a la hora de desarrollar su sistema de transporte ya que son muchas personas que dependen del mismo para trasladarse y moverse por dicha ciudad. Estos desafíos consisten en plantear nuevos modos de producción e intercambio, hiperconectividad, buscar soluciones para las problemáticas socioambientales, articulados en una estrategia sostenible. El desarrollo de los distintos medios de transporte resulta de vital importancia en la búsqueda de soluciones al impacto ambiental que genera este sistema. Los colectivos urbanos diésel son responsables en una parte significativa de las emisiones de óxidos nitrosos y de material particulado en la CABA, y en menor medida de las emisiones de dióxido de carbono correspondientes al transporte. La contaminación afecta principalmente a la salud respiratoria de los ciudadanos, y además contribuye a los efectos negativos del cambio climático como mayores y más intensas precipitaciones y un aumento sostenido en la frecuencia y la duración de las olas de calor, en la ciudad; y a la aceleración del aumento de la temperatura en el planeta. Estos resultados han sido el punto de partida principal para determinar una estrategia para adoptar tecnologías y hábitos cada vez más sostenibles.

Por lo antedicho, la CABA tiene objetivos ambientales ambiciosos con respecto a la movilidad y en especial al autotransporte público de pasajeros. El Programa de Prueba Piloto se creó con la intención de tener un marco experimental para nuevas tecnologías como la eléctrica. Ya que la tecnología eléctrica ofrece una posible solución toda vez que sus emisiones son nulas, y su motor silencioso. De la prueba se obtuvo información sumamente valiosa que permitió entender las barreras hacia la electrificación de la flota de buses urbanos en la CABA.

En primer lugar, en relación a los procesos administrativos cabe destacar, que los tramites de las homologaciones son complejos y requieren tiempo, ya que intervienen distintas áreas técnicas que tienen que analizar, evaluar, probar, entre otras, a los fines de certificar los modelos que se incorporan. Los marcos regulatorios vigentes, en algunos casos necesitan ser actualizados para estar en línea con los avances técnicos y tecnológicos. Es necesaria la colaboración entre el Estado Nacional, y de la CABA, y articular acciones para mejorar los procesos, además como se mencionó anteriormente armonizar y renovar los marcos regulatorios. En caso de electrificar flota, sería sumamente necesario un trabajo en equipo de todos los entes involucrados con un objetivo decidido.

Las líneas de colectivos que circulan exclusivamente en la CABA y en el AMBA son muy diversas entre sí por eso es muy necesario estudiar en profundidad la operación de cada línea y sus parámetros para verificar si el bus eléctrico cumple con los requerimientos de esta. Cuando el deseo sea reconvertir la totalidad de una flota diésel en eléctrica se deberán tener otros factores en cuenta además de los que se tuvieron para la prueba, por ejemplo, la disponibilidad de potencia en cabecera. La infraestructura eléctrica para proveer potencia de la Ciudad no está preparada en todos los casos, depende de la ubicación de la cabecera en cuestión y la potencia requerida. Otro factor importante, es la disponibilidad de espacio en cabeceras: se necesitan metros cuadrados extra para la instalación de cargadores eléctricos, y en general, las cabeceras de la CABA tienen espacios reducidos. Otro tema para tener en cuenta es la degradación de las baterías y su vida útil, lo que afecta directamente a la autonomía del vehículo. Es decir, a la hora de comprar buses eléctricos es necesario considerar la degradación de estas, y la consecuente disminución de la autonomía.

De la prueba se destaca la fácil incorporación de los buses a la Línea 59 y la beneficiosa experiencia del usuario. Tanto los conductores designados, como el personal del predio encargado de recargar los buses, se adaptó sin mayores inconvenientes al uso y manejo de los buses eléctricos. Además, los pasajeros de la Línea 59 destacaron el buen andar del vehículo, el silencio del motor, y las comodidades de este (puerto USB en cada asiento y excelente climatizador).

Siguiendo con el análisis económico de la Prueba Piloto resultó que el costo por kilómetro del bus eléctrico es 18% mayor al costo por kilómetro bus diésel en la Línea 59. Del estudio se desprende que el precio del bus es la principal causa de esta diferencia. Es importante recordar que el TCO no solo incluye la operación sino también la compra del bus y la infraestructura de carga. Si bien se mencionó que el costo de la operación es menor para el eléctrico que para el diésel, no es suficiente esa baja para compensar la diferencia en el precio de las unidades.

Otro punto no menor, es la necesidad de acceso al financiamiento. La inestabilidad económica de Argentina complica el acceso a créditos blandos, sobre todo aquellos en dólares. Contar con el apoyo de “fondos verdes” (aquellos destinados exclusivamente a financiar proyectos verdes como Transporte Limpio, Energías

Renovables, Eficiencia Energética, entre otros); y líneas de financiamiento a tasas bajas resulta otro aspecto clave en la ecuación económica financiera.

De todo lo anterior mencionado surge la idea de generar un cambio de paradigma en el sistema de transporte de pasajeros por automotor si el objetivo es electrificarlo. Dado el precio de los buses eléctricos y las características de la tecnología es necesario pensar en modelos de negocio diferentes. Una opción puede ser plantear la movilidad como un servicio (“maas” mobility as a service), donde el operador no sea dueño del capital que explota como sucede actualmente, ya que es muy difícil que pueda costear la compra de las unidades eléctricas. Además, se podría pensar en una única cabecera compartida, en zonas menos densamente pobladas de la CABA para sortear los problemas de espacio y disponibilidad de potencia. En conclusión, el sistema actual y su manera de operar los servicios dificultan la entrada de los buses eléctricos a escala.

En términos ambientales, la matriz energética define la huella de carbono de los buses eléctricos casi en su totalidad. En Argentina la mayor parte de la energía se genera de manera térmica, pero en los últimos años la renovable creció. Aun así, la reducción es del 88% de emisiones respecto a un bus convencional. Entonces, la electromovilidad es una excelente opción para mejorar la calidad del aire in situ, así como también el ruido ocasionado por motores diésel. En este cálculo no se tuvo en cuenta la disposición final de baterías. Pero se recomienda el estudio del ciclo completo de las baterías previo a la compra de los buses, sobre todo si se trata de una reconversión a mayor escala.

De conformidad con lo expuesto, es necesario y oportuno continuar con el estudio de la tecnología en cuestión y la escalabilidad de la misma. Existen múltiples variables que pueden modificarse, tanto político - económicas como técnicas que podrían mejorar los resultados, y así lograr un óptimo aprovechamiento de esta tecnología.

6. Bibliografía

1. Plan de Movilidad Limpia de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2017. Publicado el 21 de diciembre de 2017.
2. Resolución N°634/SECTRANS/17 - Programa de Prueba Piloto de Buses de Tecnología Limpia, 2017. En el marco del Plan de Movilidad Limpia. Publicada en el Boletín Oficial, 10 de noviembre 2017. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
3. Resolución N°156/SSTYTRA/18 - Creación del Programa de Prueba Piloto de Buses de Combustibles Alternativos Publicada en Boletín Oficial Nro. 5341 el 20 de marzo 2018, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
4. Resolución N°158/SSTYTRA/18 - Creación de la segunda convocatoria a participar del Programa Prueba Piloto de Buses de Tecnología Limpia. Publicada en Boletín Oficial Nro. 5341 el 23 de marzo 2018, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
5. Sitio oficial Buenos Aires Data, período: 2019-2020. (<https://data.buenosaires.gob.ar/>)
6. Ley 24.449 Ley de Tránsito (1994). Publicada en el Boletín Oficial, 10 de febrero de 1995. Argentina.
7. Resolución N°139/97 Secretaría de Transporte de fecha 29 de diciembre de 1997 - Transporte Automotor de Pasajeros, Manual de Especificaciones Técnicas para vehículos, 1997. Publicada en el Boletín Oficial. 5 de enero de 1998, Argentina.
8. Sitio oficial del Ministerio de Transporte de Nación. Costos e Ingresos Medios de los Servicios de Transporte de Pasajeros Urbanos y Suburbanos de la Región Metropolitana, período: septiembre de 2019. (<https://www.argentina.gob.ar/transporte>)
9. Sitio oficial del Ministerio de Transporte de Nación - Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), período: 2019 - 2020. (<https://www.argentina.gob.ar/transporte/cnrt>)
10. Sitio oficial EDESUR. Cuadro Tarifario, período: 2019 - 2020. (<https://www.edesur.com.ar/tarifas-cuadro-tarifario/>)
11. Sitio oficial de la Secretaría de Energía del Ministerio de Economía. Argentina. (<http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>)
12. GREET (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy in the use of Transportation), desarrollado por el Argonne National Laboratory, 2016.
13. Sitio oficial de la Organización Mundial de la Salud (OMS) - Guías de calidad de aire relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido

de azufre.

14. Alves, Bianca Bianchi, et al. Green Your Bus Ride: Clean Buses in Latin America. No. 133929, 2019.
15. Eudy, Leslie, Matthew Post, and Matthew Jeffers. American Fuel Cell Bus Project Evaluation: Third Report. No. NREL/TP-5400-67209. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (Estados Unidos), 2017.
16. Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment. Bolun Xu et al, 2016.
17. Sitio oficial European Environment Agency, período 2019-2020. (http://efdb.apps.eea.europa.eu/tools?source=%7B%22query%22%3A%7B%22match_all%22%3A%7B%7D%7D%2C%22display_type%22%3A%22tabular%22%7D%22%7D%22%7D)

7. ANEXO

7.1 Especificaciones técnicas del colectivo eléctrico

3. Especificaciones técnicas del Bus Eléctrico E12




Chasis / Carrocería			
	E 12	OH 1721	O 500 U
Bastidor	Perfiles de acero	Perfiles de acero	Perfiles de acero
Carrocería	Estructura de aluminio	Estructura de hierro	Estructura de hierro
Sistema de frenos	Aire comprimido / ABS	Aire comprimido / ABS	Aire comprimido / ABS
Frenos delanteros y traseros	Freno de discos	Frenos de tambor	Freno de discos
Freno auxiliar	Frenado regenerativo eléctrico	Freno de motor	Retardador
Sistema de suspensión	Neumático Ecas	Neumático Ecas	Neumático Ecas
Equipamiento			
	E 12	OH 1721	O 500 U
Aire acondicionado	Frio	Frio	Frio
Calefacción adicional	De conductor	De conductor	De conductor
Interior	Aluminio - fibra	Fibra	Fibra
Espejos	Eléctrico	Manual	Manual
Cámaras	5 interior - 1 m. atras	-	-
Cartel digital	1 del. 1 lateral	Delantero	Delantero
Llantas	Aluminio	Acero	Acero
Desempeño			
	E 12	OH 1721	O 500 U
Velocidad Nominal	limitado a 60 km/h	90	90
Velocidad máxima	85	120	120
Autonomía media (km)	~ 250	~ 750	~ 750

3. Especificaciones técnicas del Bus Eléctrico E12



Dimensiones (mm)			
	E 12	OH 1721	O 500 U
Largo	12000	11700	12200
Alto	3350	3300	3350
Ancho	2550	2550	2550
Altura interior	2500	2500	2500
Distancia entre ejes	5875	6200	5950
Distancia al suelo (mínimo)	210	216	183
Voladizo delantero	2700	2400	2700
Voladizo trasero	3425	3200	3550
Pesos y Capacidades			
	E 12	OH 1721	O 500 U
Peso en vacío	14000 kg	10660 kg	11180 kg
Peso máximo con carga y carrocería	19000 kg	16500 kg	18500 kg
Asientos (Pasajeros + conductor + silla de	27 + 1 + 2	27 + 1 + 2	27 + 1 + 2
Cantidad máxima de pasajeros	80	80	80
Tren de fuerza			
	E 12	OH 1721	O 500 U
Motor	YTM 280	OM 924 LA	OM 926 LA
Tipo	Eléctrico	Diesel	Diesel
Potencia nominal (CV)	292	208	256
Par motor máximo (Nm)	2388	780	900
Caja de cambios	No posee	Allison T 270	Voith Diwa 5
Marchas	No posee	5	4
Eje delantero	ZF	MB	MB
Eje trasero	ZF	MB	MB
Neumáticos	295/80/22,5	275/80/22,5	295/80/22,5

7.2 Ejemplo de factura de consumo eléctrico durante la prueba piloto.



EDESUR
Teléfono emergencia 24hs.
0800-3-333787
Web
www.edesur.com.ar
Empresa Distribuidora Sur S.A.
San José 140 - C1076AAD - CABA

LSP N° A 9904-01098698 17
Capital Federal 26/09/2019
Tarifa T3 BT cliente Privado Comercial
CUIT 30546337398 IVA Responsable Inscripto

A
17

Liquidación de Servicios Públicos (LSP) A 9904-01098698 17

Al: MICROOMNIBUS C.DE BS.AS. SA
Su número de cliente es: **80500853**

LUNA 1299
Capital Federal (1437)
DOMICILIO DE ENTREGA:
LUNA 1297

(1437) Capital Federal
Plan: 56 Ruta de la lectura: R56T5471 C.E.S.P.: 30382002777173 Vto: 30/09/2019 C.: 00000 HOJA 1

Se:
Alimentador:
CT:
Correo Argentino
Cuenta N° 11969

Esta liquidación vence el 08/10/2019 (*)

\$ 143,008.87

Después del vencimiento (*)

\$ 152,760.85

Prox.lect.aprox. 20/09/2019

Prox.vencimiento aprox. 28/09/2019

CSC: 170 KW
CSC: Capacidad de Suministro Convenida CSR: Capacidad de Suministro Registrada

Mensajes al Cliente:
A la fecha de emisión de la presente, este sum. no registra facturas pendientes de pago por consumo e. eléctrica. Tangente fi medido 0.0100000
Clave de adhesión al débito automático y para pago en Red Link y Banelco: 0080500853

	Potencias
Convenida	170.00
Adquirida	171.60

Mes	06-19	07-19	08-19	09-19
DRP	164	164	165	166
DRFP	169	170	171	172
E. Tot	17145	15210	15150	15615

DRP= Demanda Reg. En Punta DRFP= Demanda Reg. Fra. Punta E.TOT= Energía Total

Nro. Medidor	Cargo Liquidado	Periodo de Liquidación		Costante de Lectura	Tarifa Anterior		Tarifa Actual		Consumo		Importe
		Estados al 23/09/2019	Estados al 24/08/2019		Días	Valor unitario	Días	Valor unitario	Valor	Unid.	
0004192375	Cargo Fijo T3						31	4439.380000	1.000		4,439.38
	Cap.Sum.Conv T3						31	306.610000	170.000	KW	52,123.70
	Cap.Sum.Adquirida T3	1,144	0.000	150.000			31	62.430000	171.600	KW	10,712.99
	Recargo Exceso Potencia						31	306.610000	2.400	KW	735.86
0004192375	Energ. Hrs. Restante	238.700	180.700	150.000			31	2.383000	8,700.000	KWH	20,732.10
0004192375	Energ. Hrs. Valle No	154.300	117.500	150.000			31	2.279000	5,520.000	KWH	12,580.08
0004192375	Energ. Hrs. punta	27.800	18.500	150.000			31	2.488000	1,395.000	KWH	3,470.76
0004192375	Recargo Energía Reac	5.600	4.100	150.000			31	0.000000	225.000	Kvar	0.00
	Res. SE Nro. 1866/05						31	0.004061	15,615.000	KWH	63.41
Subtotal Cargos Netos del Mes											104,858.28
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Imp. Valor Agregado 27.00%</p> <p>Contribución Municipal 6.383%</p> <p>Percep IVA RG2408/08 3.00%</p> <p>Subtotal contribuciones e impuestos</p> <p>Subtotal Cargos del Mes</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>28,311.74</p> <p>6,693.10</p> <p>3,145.75</p> <p>38,150.59</p> <p>143,008.87</p> </div> </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Total a Pagar hasta el 08/10/2019 </div> <p>143,008.87</p>											
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Recargo Por Mora 5%</p> <p>Imp. Valor Agregado 27.00%</p> <p>Contribución Municipal 6.383%</p> <p>Percep IVA RG2408/08 3.00%</p> </div> <div style="text-align: right;"> <p>7,150.44</p> <p>1,930.62</p> <p>456.41</p> <p>214.51</p> </div> </div>											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Después del Vencimiento (*) </div> <p>152,760.85</p>											
Total a pagar hasta											
08/10/2019 (*)	\$ 143,008.87										
Después del Vto. Y solo en Edesur											
	\$ 152,760.85										
Al Vto. Límite de pago en Bancos 08/10/2019											
	\$ 143,008.87										
Después del vencimiento y solo en nuestras oficinas comerciales (*)											
	\$ 152,760.85										

7.3 Estación de carga en el predio de la Línea 59 (ubicada en la calle Luna 1299, Barracas CABA).



7.4 COVID-19

El Decreto de Necesidad y Urgencia N°260 de fecha 12 de marzo de 2020, por el que se amplió la emergencia pública en materia sanitaria establecida por la Ley N°27.541 en virtud de la Pandemia declarada por la ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) en relación con el coronavirus COVID-19, se dictó la Resolución N°64 de fecha 18 de marzo de 2020 del MINISTERIO DE TRANSPORTE, por la cual se establecieron limitaciones a la circulación de pasajeros en servicios de transporte automotor y ferroviario sometidos a Jurisdicción Nacional.

Además el Decreto de Necesidad y Urgencia N°297 de fecha 19 de marzo de 2020 estableció el “aislamiento social, preventivo y obligatorio” para todas las personas que habitan en la REPÚBLICA ARGENTINA o que estén en ella en forma temporaria, desde el 20 hasta el 31 de marzo de 2020 inclusive, el cual fue prorrogado por los Decretos de Necesidad y Urgencia N°325 de fecha 31 de marzo de 2020, N°355 de fecha 11 de abril de 2020, N°408 de fecha 26 de abril de 2020, N°459 de fecha 10 de mayo de 2020, N°493 de fecha 25 de mayo de 2020, N°520 de fecha 7 de junio de 2020, N°576 de fecha 29 de junio de 2020, N°605 de fecha 18 de julio de 2020, N°641 de fecha 2 de agosto de 2020, N°677 de fecha 16 de agosto de 2020, N°714 de fecha 30 de agosto de 2020, N°754 de fecha 20 de septiembre de 2020, N°792 de fecha 11 de octubre de 2020, N°814 de fecha 25 de octubre de 2020 y N°875 de fecha 7 de noviembre de 2020 dispuso el “distanciamiento social, preventivo y obligatorio” para todas las personas que residan o transiten en los aglomerados urbanos, partidos y departamentos de las provincias en tanto que en éstos se verifiquen en forma positiva la totalidad de los parámetros epidemiológicos y sanitarios previstos en el artículo 2° y las localidades alcanzadas en el artículo 3°, ambos del citado Decreto. Se fueron prorrogando las restricciones hasta el Decreto DNU 287/2021, que actualmente está vigente.

Asimismo, se dispuso hasta la fecha que el servicio público de transporte de pasajeros urbano solo podrá ser utilizado por las personas alcanzadas por las actividades esenciales.



**Buenos
Aires
Ciudad**



**Vamos
Buenos
Aires**