



La electromovilidad en el transporte público de América Latina

Título

**La electromovilidad en el transporte público
en América Latina**

Depósito legal: DC2019000315

ISBN: 978-980-422-143-9

Editor

CAF

Vicepresidencia de Infraestructura

Antonio Pinheiro Silveira, Vicepresidente Corporativo

Sandra Conde, Directora de Análisis
y Evaluación Técnica

Andrés Alcalá y Daniela Zarichta,
Análisis y Evaluación Técnica

Autor

ARDANUY INGENIERÍA, S.A.

Diseño gráfico

Estudio Bilder / Buenos Aires

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

La versión digital de este libro se encuentra en:
scioteca.caf.com

© 2019 Corporación Andina de Fomento
Todos los derechos reservados

Índice

6	01: Antecedentes	50	10: Análisis de riesgos y mitigantes
8	02: Objetivo y alcance	50	Metodología del análisis de riesgos
8	Objetivo	53	Análisis de riesgos y mitigantes
9	Alcance	56	Oportunidades
10	03: Principales barreras para la implementación de la electromovilidad	58	11: Actores para la implementación de la electromovilidad
12	04: Marco de política y normativa actual	64	12: Hoja de ruta para la implementación de la electromovilidad
12	Marco político actual	65	Hoja de ruta para la implementación desde lo público
16	Políticas de subsidios a combustibles fósiles	66	Hoja de ruta para la implementación desde lo privado
18	05: Proceso de implementación de la electromovilidad	67	Hoja de ruta para la sustitución de flota
18	Aspectos comunes	69	Ruta crítica
22	06: Proceso de implementación de la electromovilidad en Bogotá	70	13: Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero
22	Descripción del estado de la flota de autobuses	72	Emisiones durante el procesado, fabricación y distribución
24	Acciones emprendidas en materia de electromovilidad	73	Emisiones durante la etapa de uso
26	Análisis financiero desde el punto de vista del operador	75	Emisiones durante el final de la vida útil
30	07: Proceso de implementación de electromovilidad en Quito	77	Beneficio socioeconómico
30	Descripción del estado de la flota de autobuses	86	14: Postulación a fondos verdes
32	Acciones emprendidas en materia de electromovilidad	86	Fondo Verde para el Clima (GCF)
32	Análisis financiero desde el punto de vista del operador	91	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF)
36	08: Proceso de implementación de electromovilidad en Montevideo	93	Análisis de cumplimiento de los criterios de elegibilidad
36	Descripción del estado de la flota de autobuses	94	Hipótesis de financiamiento de los proyectos de sustitución de flota con e-buses
37	Acciones emprendidas en materia de electromovilidad	98	15: Conclusiones finales
38	Análisis financiero desde el punto de vista del operador	104	16: Documentos de referencia
42	09: Proceso de implementación de electromovilidad en Santiago		
42	Descripción del estado de la flota de autobuses		
43	Acciones emprendidas en materia de electromovilidad		
44	Análisis financiero		

Índice de cuadros

- 13 **Cuadro 4.1** Acciones a favor de la electromovilidad realizadas en sistemas de bus hasta 2017
- 14 **Cuadro 4.2** Resumen por países de la matriz de políticas y normativas
- 17 **Cuadro 4.3** Resumen de subsidios a combustibles fósiles
- 23 **Cuadro 6.1** Flota de autobuses de Bogotá en 2017
- 25 **Cuadro 6.2** Historial de acciones relacionadas con nuevas tecnologías en autobuses en Bogotá
- 26 **Cuadro 6.3** Procesos de sustitución de flota de buses en Bogotá simulados
- 27 **Cuadro 6.4** Resumen de resultados del escenario base de los proyectos de sustitución en Bogotá
- 28 **Cuadro 6.5** Valor presente neto (VPN) de cada uno de los objetivos de sustitución en Bogotá
- 31 **Cuadro 7.1** Flota de autobuses de Quito en 2017
- 32 **Cuadro 7.2** Procesos de sustitución de flota de buses en Quito simulados
- 33 **Cuadro 7.3** Resultados del proyecto de e-buses por metas en Quito
- 34 **Cuadro 7.4** Valor presente neto (VPN) para cada uno de los objetivos de sustitución en Quito
- 37 **Cuadro 8.1** Flota de autobuses de Montevideo en 2017
- 38 **Cuadro 8.2** Procesos de sustitución de flota de buses en Montevideo simulados
- 39 **Cuadro 8.3** Resultados del escenario base para diferentes metas en Montevideo
- 40 **Cuadro 8.4** Valor presente neto (VPN) para cada uno de los objetivos de sustitución en Montevideo
- 43 **Cuadro 9.1** Flota de autobuses de Santiago en 2017
- 44 **Cuadro 9.2** Evolución del estándar de emisión diésel en los buses de Transantiago
- 44 **Cuadro 9.3** Procesos de sustitución de flota de buses en Santiago simulados
- 45 **Cuadro 9.4** Resultados de proyecto de e-buses para cada una de las metas en Santiago
- 46 **Cuadro 9.5** Valor presente neto (VPN) para cada uno de los objetivos de sustitución en Santiago a precios de carburantes constantes y con incremento anual del 3 %
- 48 **Cuadro 9.6** Valor presente neto (VPN) de cada uno de los objetivos en Santiago
- 51 **Cuadro 10.1** Frecuencia de peligros
- 51 **Cuadro 10.2** Consecuencia de la implementación del proyecto
- 51 **Cuadro 10.3** Matriz de riesgos
- 54 **Cuadro 10.4** Listado de amenazas y medidas de mitigación
- 59 **Cuadro 11.1** Matriz de actores en Montevideo. Implementación desde lo público.
- 60 **Cuadro 11.2** Matriz de actores en Montevideo. Implementación desde lo privado.
- 61 **Cuadro 11.3** Matriz de actores en Santiago. Implementación desde lo público
- 62 **Cuadro 11.4** Matriz de actores en Santiago. Implementación desde lo privado
- 68 **Cuadro 12.1** Hoja de ruta
- 75 **Cuadro 13.4** Emisión y ahorro (t) de otros GEI en los distintos países
- 77 **Cuadro 13.5** Demanda anual de baterías y disponibilidad de baterías usadas de e-buses
- 78 **Cuadro 13.6** Emisión de contaminantes por focos en la ciudad de Madrid
- 80 **Cuadro 13.7** Costes de contaminación atmosférica de autobuses (2010)
- 81 **Cuadro 13.9** IPCA en Europa en los últimos años
- 81 **Cuadro 13.8** Costes de la contaminación atmosférica del transporte ferroviario (2010)
- 82 **Cuadro 13.10** Costos de contaminación atmosférica en €/km
- 82 **Cuadro 13.11** Costos de contaminación atmosférica en USD/km
- 82 **Cuadro 13.12** Costos derivados de la contaminación atmosférica (USD)
- 83 **Cuadro 13.13** Costes derivados del ruido (USD)
- 84 **Cuadro 13.14** Costes derivados del cambio climático (USD)
- 88 **Cuadro 14.1** Criterios de elegibilidad del Fondo Verde para el Clima
- 95 **Cuadro 14.2** Monto de financiamiento con fondos verdes y cofinanciación de los proyectos de sustitución de flotas
- 96 **Cuadro 14.3** Posibilidad de financiación con fondos verdes
- 100 **Cuadro 15.1** Resultados del estudio financiero en los diferentes países
- 101 **Cuadro 15.2** Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la implantación de autobuses híbridos o eléctricos en América Latina

Índice de figuras

- 9 **Figura 2.1** Casos de estudio de electromovilidad del transporte en autobús
- 24 **Figura 6.1** Evolución prevista de la flota de autobuses de Bogotá 2017-2030
- 25 **Figura 6.2** Bus híbrido diésel eléctrico
- 28 **Figura 6.3** Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías y exención de impuestos del 10 % del precio de la energía eléctrica
- 31 **Figura 7.1** Trolebús (arriba) y autobús diésel (abajo) en Quito
- 40 **Figura 8.2** Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías
- 47 **Figura 9.2** Comparación del VPN del modelo base a precios de carburante constantes y del modelo con incremento anual del 3 % del precio de la energía fósil
- 48 **Figura 9.3** Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías
- 52 **Figura 10.1** Principio ALARP (tan bajo como sea razonablemente factible) de aceptación de riesgos
- 71 **Figura 13.1** Compromisos nacionales de reducción de gases de efecto invernadero en América Latina
- 72 **Figura 13.2** Capacidad eléctrica instalada según fuente de generación de energía en América Latina
- 76 **Figura 13.3** Estimación de ingresos por el reciclaje de paquetes de baterías NMC 24kWh (USD)
- 78 **Figura 13.4** Emisión de contaminantes atmosféricos
- 79 **Figura 13.5** Emisión de NO_x y PM_{2,5} en 2015 en América Latina

01: Antecedentes

CAF –banco de desarrollo de América– está participando de manera activa e integral en la agenda global en materia de transporte, contribuyendo a los objetivos globales que propenden, entre otras finalidades, a fortalecer las políticas de transporte sostenible, la reducción de la pobreza, la mejora en la accesibilidad de las ciudades como política de construcción de equidad dentro de las sociedades y la descarbonización del sector.

Las actividades para el desarrollo de esta agenda en América Latina son diversas y entre ellas se cuenta la participación activa en la Fundación de Transporte Sostenible de Bajo Carbono (SLoCaT), de la que CAF es miembro. Asimismo, CAF forma parte del Grupo de Transporte Sostenible de los bancos de desarrollo y del Grupo Consultivo de Alto Nivel del Secretario General de las Naciones Unidas sobre el Transporte Sostenible. Con estos aportes, la institución busca fortalecer una agenda global sectorial muy relacionada con los temas ambientales de la movilidad.

Los costos de inversión inicial para la adquisición de material móvil han sido identificados como una de las principales barreras para implementar un cambio tecnológico limpio en la flota de transporte público de la región, puesto que son mucho más altos que los necesarios para el uso de tecnologías convencionales, con propulsión de combustibles fósiles.

El desarrollo de este estudio se enmarca en la línea de trabajo “Transporte limpio” de la estrategia de Movilidad Urbana de CAF. Con ella, la institución busca facilitar y promover el uso del transporte público de bajas o cero emisiones y complementar el apoyo a varias ciudades de la región que han iniciado este proceso de forma incipiente.

A partir del constante diálogo que CAF sostiene con los actores del sector en la región, incluyendo los operadores de transporte y los reguladores de sistemas de transporte público, se han identificado algunas de las barreras que limitan la utilización a mayor escala de la flota de transporte público eléctrico. Entre ellas, se encuentran:

- El desconocimiento de la confiabilidad y los costos de operación de estos vehículos en la actualidad.
- La ausencia de incentivos, desde lo normativo, para promover el cambio.
- Las dificultades financieras de los sistemas que, en un contexto complejo de demanda, hacen que los operadores no quieran asumir inversiones consideradas arriesgadas.
- Las políticas públicas y tributarias centradas en el consumo de combustibles fósiles para atender el sector movilidad.
- Las políticas ambientales poco agresivas.
- Un sector financiero que aún no responde a la necesidad de facilitar este cambio.
- Los modelos de operación basados en el combustible fósil.
- Una evolución tecnológica dispar entre los proveedores de la tecnología.

02: Objetivo y alcance

Objetivo

El objetivo general del estudio es buscar alternativas de financiamiento y normativas para propiciar la sustitución de la flota convencional de autobuses movidos por combustibles fósiles, por vehículos eléctricos o híbridos en los sistemas de transporte público urbano de América Latina.

Para ello, se analiza en primer lugar el marco de la política actual, relacionada con los incentivos o la regulación favorables para propiciar un proceso de sustitución de las flotas de autobuses a nivel nacional o local.

El estudio presenta una revisión detallada del proceso de implementación y los resultados hasta ahora obtenidos en las ciudades de Bogotá, Quito, Montevideo y Santiago. Además, se incluyen las principales hipótesis, consideraciones y conclusiones del análisis económico resultante de la sustitución de un porcentaje pequeño (10 %), mediano (20 %) y grande (40 %) del total de la flota de autobuses.

También se analiza la matriz de riesgos que puede desestabilizar la implementación de la electromovilidad, exponiendo las soluciones que se deben adoptar para mitigar dichos riesgos y conseguir la viabilidad financiera y socioeconómica del proyecto.

Finalmente, se analizan las posibilidades de solicitar fondos verdes que ofrece el proceso de sustitución de flota, puesto que se produce un ahorro significativo en la emisión de gases de efecto invernadero durante la implantación del proyecto.

Alcance

El estudio abarca a toda América Latina, pero la revisión detallada de los procesos de implementación de la electromovilidad en el sistema de transporte en autobús del presente informe se aplica únicamente a las ciudades de Bogotá, Quito, Montevideo y Santiago.

Figura 2.1
Casos de estudio de electromovilidad del
transporte en autobús

Fuente: Elaboración propia



03 Principales barreras para la implementación de la electromovilidad

Los elevados costos de inversión inicial para la adquisición de material móvil constituyen una de las principales barreras para la sustitución de las tradicionales flotas de autobuses con motores diésel por tecnologías más limpias, en particular la eléctrica.

Por otra parte, los operadores de autobús saben que algunos costos de operación de vehículos eléctricos son más bajos que los costos de operación en diésel, especialmente el consumo, que es uno de los principales costos de operación. Si bien los costos de inversión son bien conocidos, la determinación de los costos de operación, el comportamiento y la duración de los motores eléctricos y las baterías es una incógnita que puede hacer los modelos financieros poco confiables.

A continuación, se identifican las principales barreras para la implementación de la electromovilidad en las flotas de autobuses de la región.

1. Elevados costos de inversión inicial de los buses eléctricos comparados con la tecnología híbrida diésel-eléctrica y con la tecnología diésel.

2. Incertidumbres en la fase de operación respecto a la vida útil y el mantenimiento de las unidades.

Los operadores conocen perfectamente los costos de mantenimiento y la vida útil de los motores diésel. Sin embargo, no disponen de datos fiables sobre la tecnología eléctrica. Inicialmente, tan solo disponen de los datos facilitados por el fabricante de las unidades, los cuales pueden ser cuestionados por la necesidad de vender una nueva tecnología. Para despejar estas incertidumbres, algunos países han desarrollado iniciativas para poner en pruebas y monitorizar los comportamientos de las unidades eléctricas e híbridas en recorridos comerciales en sus ciudades. Los resultados de las pruebas han sido analizados en las universidades y se han publicado informes técnicos de divulgación comparando la tecnología eléctrica, la híbrida y la diésel.

3. Subsidios a los combustibles fósiles. En algunos países, el diésel está subsidiado y controlado por el Estado por motivos sociales, fundamentalmente para asegurar que sea accesible para la mayor parte de la población, y para que la producción de determinados alimentos en los sectores de agricultura y pesca sea rentable y no se abandone. Las políticas de algunos países ya están desincentivando el diésel como combustible para el transporte y permitiendo un mercado libre.

4. Necesidad de inversión en infraestructuras de recarga eléctrica adicionales a las instalaciones de suministro de diésel. Los operadores, para un determinado tamaño de flota, suelen disponer de infraestructuras de abastecimiento de combustible propio, principalmente diésel. Introducir la tecnología eléctrica supone la necesidad de ampliar el espacio para surtidores en sus bases de operación.

5. Limitación del alcance de las unidades. Los trolebuses tienen un alcance ilimitado, pues el suministro de energía eléctrica es continuo. Sin embargo, los autobuses eléctricos a baterías tienen unos alcances limitados. La distancia recorrida sin repostar es menor que en la tecnología híbrida y en la tecnología diésel. Para tratar de superar esta barrera, los fabricantes están mejorando la tecnología eléctrica, logrando baterías más capaces y con mayor alcance. Como ejemplo, cabe citar que en 2016 un autobús urbano articulado eléctrico a baterías realizó una prueba piloto del recorrido entre Bogotá y Medellín con una sola recarga. El recorrido fue de 410 km, en un perfil montañoso, a una velocidad media de 40 km/h. Dicho alcance se produjo gracias a la introducción de tecnologías de recuperación de energía en los frenados y técnicas de conducción eficiente.

6. Necesidad de formación de conductores y mecánicos especializados. Para que el manejo de las unidades eléctricas sea eficiente, es necesario formar a los conductores. Igualmente, es preciso formar a mecánicos de motores eléctricos y baterías.

7. Ausencia de tarifas eléctricas específicas para el transporte. En general, las tarifas eléctricas suelen distribuirse en grupos de consumo; por ejemplo, diferenciando entre pequeño, mediano y gran consumidor. Dependiendo del tamaño de la flota, un operador de autobuses podría ser un mediano o gran consumidor. Para fomentar la electromovilidad y superar esta barrera, las compañías eléctricas suelen involucrarse mediante la creación de tarifas especiales aplicadas al transporte.

8. Dependencia del fabricante y necesidad de repuestos. La poca variedad de mercado que todavía existe en los autobuses eléctricos hace que exista una dependencia del fabricante para conseguir repuestos. Si a esto se añade que el fabricante no está implantado en la región, es posible que el tiempo de adquisición de los repuestos sea elevado y su coste también. La implantación del fabricante en la región ayudaría a superar esta barrera.

9. Necesidad de homologación vehicular. Por lo general, las normas técnicas vehiculares, tanto de homologación como de inspección, están orientadas a los motores diésel y puede existir un vacío legal a la hora de realizar esas tareas en vehículos eléctricos. La adaptación de los vehículos, en dimensiones y pesos, a la normativa técnica del país puede suponer una barrera. Un ejemplo claro es la pérdida de capacidad de pasajeros de un bus eléctrico respecto a un bus diésel de iguales dimensiones, ya que, por lo general, son más pesados (debido a las baterías) y deben cumplir con un peso máximo autorizado. Para superar esta barrera, sería conveniente la actualización de la normativa técnica; por ejemplo, mediante la mejora de los estándares de construcción de calzadas para permitir un mayor peso por eje.

10. Ausencia de información confiable. Para un ciudadano corriente puede suponer una barrera importante la ausencia de información sobre la tecnología. Sin embargo, los operadores suelen estar bien asesorados técnicamente, por lo que esta barrera no es de especial importancia. No obstante, la política de información que fomenten los gobiernos siempre ayuda a superarla.

04 ● Marco de política y normativa actual

Marco político actual

Las políticas de un país o una región se documentan mediante planes nacionales o federales estratégicos, que normalmente van asociados a un determinado período de aplicación. Dichos planes pueden ser generales o sectoriales. En América Latina, es habitual que la política de electromovilidad se incluya en planes sectoriales, como pueden ser:

- Planes estratégicos de movilidad.
- Planes estratégicos de transporte.
- Planes estratégicos de calidad ambiental.
- Planes estratégicos de eficiencia energética.
- Otros planes estratégicos.

Ahora bien, los planes nacionales estratégicos pueden incluir o no acciones en determinadas zonas o

ciudades. Complementariamente, o adicionalmente a los planes nacionales o regionales, es habitual que también existan planes locales, en los que se definan con más precisión acciones de aplicación a una ciudad en particular. Las políticas expresadas en los planes locales suelen ir en consonancia con los planes nacionales, pero están realizados desde otro punto de vista, con un conocimiento de la problemática más profundo y, consecuentemente, con otro tipo de acciones más concretas.

Para el estudio del marco de política y normativa de referencia, se ha buscado para cada país la evidencia de tres elementos:

- Política de eficiencia energética relacionada con la electromovilidad aplicada al transporte público.
- Incentivos a la electromovilidad.
- Propuestas de electromovilidad aplicadas al transporte público.

El resumen cualitativo de las acciones en favor de la electromovilidad realizadas hasta la fecha en los sistemas de bus en los países estudiados se muestra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1
Acciones a favor de la electromovilidad
realizadas en sistemas de bus hasta 2017

Fuente: Elaboración propia

PAÍS	SUBSIDIOS E INCENTIVOS			COMENTARIOS
	DIÉSEL	GASOLINA	GAS NATURAL	
COLOMBIA	NO	NO	NO	La Reforma Tributaria del 29 de diciembre 2016, creó el impuesto a las emisiones de dióxido de carbono que busca desincentivar el uso de combustibles fósiles. Los combustibles presentarán un aumento de \$135 para el galón de gasolina y de \$199,17 para el de Acpm.
ECUADOR	Sí (para transporte público)	Sí (para transporte público)	NO	Mediante el Decreto Ejecutivo 799 del 15 de octubre del 2015, Ecuador decidió eliminar el subsidio al diésel y otros carburantes que utiliza la industria. Cambia el subsidio al diésel de manera focalizada, sin afectar al transporte público nacional, urbano, interprovincial o interparroquial, así como al de carga pesada nacional y tampoco al sector pesquero nacional y artesanal.
CHILE	NO	NO	NO	En su creación subsidiaba a seis productos derivados del petróleo (gasolina; kerosene doméstico; diésel; gas licuado; nafta; y, petróleo combustible) y ya en 2011 solo se aplicaba al kerosene doméstico.
MÉXICO	NO	NO	NO	México eliminó subsidios a las gasolinas en 2017. Los principales resultados del caso en México, país miembro de la OLADE, arrojan que con la reforma energética que implementó este país, los subsidios se han ido reduciendo desde el año 2015, principalmente en los subsidios a los combustibles que durante el año 2014 significaron al país cerca de USD 5,3 billones, por lo que con su eliminación se han generado ahorros significativos a este país.
ARGENTINA	NO	NO	NO	Hay subsidio para abastecimiento de gas natural en los hogares
BRASIL	SÍ	SÍ	NO	Subsidios antes de impuestos, proyectados para el año 2015: 0,07 % del PIB, 0,20 % de los ingresos fiscales.
BOLIVIA	SÍ	SÍ	SÍ	El proyecto del Presupuesto General del Estado (PGE) para la gestión 2017 destina un monto de Bs 3.484 millones (489 millones USD) para subvencionar los hidrocarburos y garantizar el consumo interno. Subsidios antes de impuestos, proyectados para el año 2015: 1,88 % del PIB, 5,8 % de los ingresos fiscales.
PARAGUAY	NO	NO	NO	-
URUGUAY	Sí (para transporte público)	NO	NO	Diésel: no tiene subsidio en vehículos privados, pero sí en vehículos de transporte público, suponiendo el 65 % del precio del diésel
COSTA RICA	NO	NO	NO	-
PERÚ	NO	NO	NO	-

El cuadro 4.2 presenta una matriz resumen del marco de política y normativa de distintos países de América Latina.

Cuadro 4.2 Resumen por países de la matriz de políticas y normativas

Fuente: Elaboración propia

PAÍS	POLÍTICA ENERGÉTICA	PROPUESTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	MEDIDAS ENERGÍA ELÉCTRICA	CIUDADES DE IMPLANTACIÓN	CONCLUSIONES
ARGENTINA	Existe una política energética para la generación de energía con fuentes renovables (solar y eólica) y la gestión eficiente de transporte de cargas por carretera.	Planes de transporte regionales o locales que fomentan el transporte público (tren, tranvía y autobús).	Adquisición de una flota de autobuses híbridos eléctricos en Buenos Aires (Ministerio de Medio Ambiente). Tranvía de Mendoza	Buenos Aires y Mendoza	En Argentina, desde mayo de 2017, existen incentivos a la importación de vehículos eléctricos. Existe también una política energética para la generación de energía con fuentes renovables (solar y eólica) y la gestión eficiente del transporte de cargas por carretera. No existen planes nacionales de fomento de la electromovilidad aplicada a sistemas de autobús. A nivel local, en 2016, el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable licitó la adquisición de 50 autobuses eléctricos en Buenos Aires. A pesar de que se adjudicó la compra, la licitación quedó posteriormente desierta por problemas judiciales. Todavía no existe un marco legalmente establecido para la homologación de buses eléctricos.
BOLIVIA	Existe una política energética, incluida en el Plan Eléctrico hasta 2025.	Propuestas de transporte internacional y local.	Teleférico de La Paz. Tren eléctrico de Cochabamba. Tren bioceánico.	La Paz y Cochabamba	En Bolivia existe una política que incentiva el transporte masivo, sin especificar el modo energético, promocionando modos de transporte menos contaminantes y más eficientes en términos energéticos. También existen incentivos al gas natural vehicular (GNV) y otras energías. La política de eficiencia energética no se aplica al transporte. En 2016, CAF identificó la posibilidad de introducir vehículos híbridos eléctricos en Bolivia, pero el Gobierno todavía no ha puesto en marcha medidas para su aplicación. No existe un marco técnico definido aplicable a la homologación vehicular en Bolivia.
BRASIL	La política energética de transporte para 2030 tiende a favorecer el empleo de biodiésel y etanol, considerando residual el modo eléctrico.	Propuestas de autobús eléctrico a nivel local en tres ciudades.	Autobús eléctrico con batería en las ciudades indicadas.	São Paulo, Campinas y Río de Janeiro	La política energética de transporte recogida en los Planes Decenales de Energía de Brasil considera en crecimiento el empleo de biodiésel y etanol en tecnología flex-fuel, estimando residual el modo eléctrico en los próximos 10 años. Existen incentivos al vehículo privado eléctrico o híbrido en São Paulo. En 2014, la Empresa Municipal de Transportes Urbanos (EMTU) puso en pruebas un autobús eléctrico biarticulado con baterías. Ese mismo año, Fetransport y Rio Bus pusieron en pruebas un autobús eléctrico de la empresa china Building Your Dreams (BYD). Los resultados de los buses eléctricos son buenos desde el punto de vista ambiental, pero malos desde el punto de vista financiero. Los estudios recomiendan el uso de la tecnología flex-fuel y biodiésel a corto y medio plazo. En Campinas, BYD inauguró en 2017 una planta de fabricación de autobuses eléctricos.
CHILE	Existen planes específicos de electromovilidad y eficiencia energética. Existen leyes de etiquetado energético del transporte que se va a ampliar a los autobuses. Se espera la aprobación en breve de la Ley de Eficiencia Energética. Existen subsidios locales al transporte eléctrico.	Propuestas de renovación de flotas con buses eléctricos e híbridos.	Bus eléctrico con baterías en las ciudades indicadas.	Santiago	En Chile, existen planes específicos de electromovilidad y eficiencia energética. Existen también leyes de etiquetado energético del transporte que se va a ampliar a los autobuses. Se espera la aprobación en breve de la Ley de Eficiencia Energética. Igualmente, existen subsidios locales al transporte eléctrico. En Santiago, hay autobuses eléctricos en prueba y se ha adoptado un programa de renovación de 1.700 autobuses de la flota de Transantiago para 2025 (el 25 %).

Continúa en la página siguiente →

PAÍS	POLÍTICA ENERGÉTICA	PROPUESTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	MEDIDAS ENERGÍA ELÉCTRICA	CIUDADES DE IMPLANTACIÓN	CONCLUSIONES
COLOMBIA	Política de incentiviación del ingreso de nuevas tecnologías al parque automotor público y privado mediante la reducción y eliminación de impuestos (IVA) y aranceles. Aplicable a un n° determinado de unidades anuales.	Introducción de la flota de autobús eléctrica. Teleféricos y metro ligero.	Bus eléctrico con baterías en las ciudades indicadas.	Bogotá y Medellín	En Colombia, existe una política nacional y local que incentiva la electromovilidad. Se incentiva mediante la reducción de aranceles a los vehículos híbridos y la eliminación a vehículos eléctricos y sus instalaciones de recarga. El IVA aplicado a vehículos eléctricos es reducido. En 2013-2015, se realizaron en Bogotá las primeras pruebas de electromovilidad con autobuses eléctricos e híbridos. En 2015, se produjo un proceso de sustitución de flota con la puesta en servicio de 430 buses híbridos en Bogotá. La electromovilidad se podrá extender a 20 buses en Medellín.
COSTA RICA	Existen planes e incentivos a la electromovilidad.	Está en proyecto un tren eléctrico.	Tren eléctrico	San José	En Costa Rica existe una política e incentivos para la electromovilidad. La compañía nacional eléctrica dispone de un plan para la creación de una red de 20 electrolíneas. Sin embargo, no existen infraestructuras de sistemas de transporte masivo, como metro, tranvía o autobuses de transporte rápido (BRT). El país apuesta por los biocombustibles y el gas licuado del petróleo (GLP), con acciones poco contundentes respecto a la electromovilidad.
ECUADOR	Desde 2010, se promueve la mezcla con etanol al 5 %. El objetivo del país es contar, para 2020, con un marco jurídico fortalecido y una institucionalidad sólida orientada a la promoción de la eficiencia energética. Igualmente, pretende reemplazar tecnologías de transporte ineficientes, implementar el etiquetado energético y capacitar en técnicas de conducción eficiente.	Autobús, trolebús, metro de Quito; Metrovía de Guayaquil, y tranvía de Cuenca.	Bus eléctrico con baterías en Quito y Guayaquil.	Quito, Guayaquil y Cuenca	En Ecuador, existe una política nacional y local de eficiencia energética que fomenta la electromovilidad. A partir de 2008, se ha incentivado la adquisición de vehículos híbridos y eléctricos mediante la exoneración de aranceles, aunque solamente es aplicable a vehículos livianos. Existe un programa de autobuses eléctricos en pruebas en Quito (2016) y está previsto otro próximamente en Guayaquil. Se prevé, además, la instalación de una planta ensambladora de autobuses de BYD en Quito.
MÉXICO	Existe una política de ahorro energético que pretende impulsar planes y acciones para introducir combustibles limpios en el transporte, como, por ejemplo, las electrolíneas públicas. Existen incentivos para la adquisición de vehículos híbridos y eléctricos.	Exceptuando el modo férreo y el trolebús, no existen planes de electromovilidad para el transporte público masivo.	Bus eléctrico puro. Teleférico Ecatepec.	Ciudad de México y Ecatepec	En México, existe una política de promoción de la electromovilidad, con un proyecto de adquisición de 150 autobuses eléctricos en el Distrito Federal. Ciudad de México dispone de 9 líneas regulares de trolebuses. Existen incentivos a la importación de vehículos eléctricos e híbridos. Existe también un programa de promoción de la electromovilidad de vehículos privados mediante la creación de una red pública y gratuita de electrolíneas a nivel nacional. El desarrollo de sistemas de BRT en varias ciudades de México no consideran buses eléctricos, sino el diésel o biodiésel.
PARAGUAY	Existen planes generales que impulsan energías limpias aplicadas al transporte. No existen incentivos legales a la electromovilidad.	Está en discusión el modo energético del BRT de Asunción (diésel o eléctrico).	BRT de Asunción. Tren eléctrico Asunción-Luque.	Asunción	En Paraguay, existe una tímida política, sin incentivos que fomenten el uso de energía eléctrica en el transporte de pasajeros a nivel nacional. A nivel local, está en discusión si el BRT de Asunción será diésel o eléctrico.
PERÚ	Existe una política energética para la generación de energías renovables (solar, eólica, minihidros, etc.) y el uso eficiente de la energía.	Planes piloto para el año 2018 (bus eléctrico en Lima).	Tren eléctrico en Lima.	Lima y Callao	En Perú, no existe normativa que incentive la movilidad eléctrica. Sin embargo, en el año 2017, se realizaron Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA, por sus siglas en inglés) con las que se buscaba estimular su uso mediante ajustes a la normativa, planes pilotos de buses eléctricos y el desarrollo de incentivos financieros para el transporte eléctrico. Actualmente, en Lima está operativa la línea 1 y en construcción las líneas 2 y 4 de metro eléctrico.
URUGUAY	Existen planes e incentivos a la electromovilidad.	Introducción del autobús eléctrico en pruebas en Montevideo.	Línea regular de bus eléctrico.	Montevideo	En Uruguay, existe política e incentivos para la electromovilidad. Sin embargo, no hay infraestructuras de sistemas de transporte masivo, como metro, tranvía o BRT. En Montevideo, se han realizado pruebas de autobús eléctrico y actualmente existe una línea operada con un bus eléctrico.

Políticas de subsidios a combustibles fósiles

Una de las principales políticas que afectan al proceso de introducción de autobuses híbridos o eléctricos es la política de subsidios a combustibles fósiles.

El subsidio a los combustibles fósiles se puede definir como la diferencia entre el precio de referencia internacional y el precio nacional¹.

$$\text{Subsidio} = (P_i - P_r) * Q$$

Donde:

P_i: Precio de referencia internacional.

P_r: Precio nacional ex refinería (es el precio final descontando impuestos y costos de comercialización y transporte o distribución interna).

Q: Cantidad consumida.

En países importadores netos, los subsidios requieren un desembolso para cubrir la diferencia entre el precio al que se vende internamente y aquel al que se importan los combustibles. Para los importadores netos, los precios de referencia se calculan según el precio de paridad de importación, que es el precio FOB² en el mercado más cercano o líquido, como, por ejemplo, la Costa del Golfo de Estados Unidos, y teniendo en cuenta ajustes por calidad y el costo de transporte e internación desde ese puerto al mercado nacional.

En los países exportadores netos de combustibles, los subsidios son implícitos siempre que se cubran los costos de producción. Los subsidios representan el costo de oportunidad por vender internamente a un valor menor al que se obtendría si se exportara.

Los subsidios a combustibles vehiculares de los países de estudio se presentan en el cuadro 4.3.

1 Enfoque de brecha de precios (*price-gap approach*), definido por el Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (IISD).

2 FOB, acrónimo del inglés *Free On Board*, (libre a bordo), es un término de comercio internacional (incoterm) que se utiliza para operaciones de compraventa en las que el transporte de la mercancía se realiza por barco, ya sea marítimo o fluvial. Siempre debe utilizarse seguido del nombre de un puerto de carga. FOB es uno de los incoterm más utilizados.

Cuadro 4.3

Resumen de subsidios a combustibles fósiles

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de informes del FMI y de ANH (2014); Cambio (2016); Carlino H. y Carlino M. (2015); Climate Transparency (2017); Infobae (2019); Mendoza (2014); Ministerio de Minas y Energía de Colombia (s.f., y 2016); OLADE (2016); Presidencia-Ministerio de Energía y Minas de Argentina (s.f.); Presidencia de la República de Ecuador (2015); Secretaría Nacional de la Administración Pública de Ecuador (2017).

PAÍS	SUBSIDIOS E INCENTIVOS			COMENTARIOS
	DIÉSEL	GASOLINA	GAS NATURAL	
ARGENTINA	NO	NO	NO	Hay subsidio para el abastecimiento de gas natural en los hogares.
BOLIVIA	SÍ	SÍ	SÍ	El proyecto del Presupuesto General del Estado (PGE) para 2017 destina un monto de Bs 3.484 millones (USD 489 millones) para subvencionar los hidrocarburos y garantizar el consumo interno. Los subsidios antes de impuestos proyectados para el año 2015 eran 1,88 % del PIB y 5,8 % de los ingresos fiscales.
BRASIL	SÍ	SÍ	NO	Los subsidios antes de impuestos proyectados para el año 2015 representaban 0,07 % del PIB y 0,20 % de los ingresos fiscales.
CHILE	NO	NO	NO	Originariamente, subsidiaba seis productos derivados del petróleo (gasolina, kerosene doméstico, diésel, gas licuado, nafta y petróleo combustible). Ya en 2011, solo se aplicaba al kerosene doméstico.
COLOMBIA	NO	NO	NO	La Reforma Tributaria del 29 de diciembre de 2016 creó el impuesto a las emisiones de dióxido de carbono, que busca desincentivar el uso de combustibles fósiles. Los combustibles presentarán un aumento de USD 135 para el galón de gasolina y de USD 199,17 para el de Acpm o diésel.
COSTA RICA	NO	NO	NO	-
ECUADOR	Sí (para transporte público)	Sí (para transporte público)	NO	Mediante el Decreto Ejecutivo 799 del 15 de octubre del 2015, Ecuador decidió eliminar el subsidio al diésel y otros carburantes que utiliza la industria. El subsidio al diésel cambia de manera focalizada, sin afectar al transporte público nacional, urbano, interprovincial o interparroquial, así como al de carga pesada nacional, y tampoco al sector pesquero nacional y artesanal.
MÉXICO	NO	NO	NO	Con la reforma energética que implementó México, los subsidios se han ido reduciendo desde el año 2015, principalmente los subsidios a los combustibles que en el año 2014 representaron cerca de USD 5,3 billones. México eliminó subsidios a las gasolinas en 2017. Los resultados iniciales en este país, que es miembro de la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE), muestran que ha logrado ahorros significativos con su eliminación.
PARAGUAY	NO	NO	NO	-
PERÚ	NO	NO	NO	-
URUGUAY	Sí (para transporte público)	NO	NO	El diésel no tiene subsidio en vehículos privados, pero sí en vehículos de transporte público, suponiendo el 65 % del precio del diésel.

05 ● ● Proceso de implementación de la electromovilidad

Aspectos comunes

Para describir el proceso de implementación de la electromovilidad en las cuatro ciudades objeto del estudio, se contemplarán los siguientes análisis:

- Descripción del estado actual de la flota de autobuses.
- Acciones emprendidas en materia de electromovilidad.
- Análisis financiero desde el punto de vista del operador.

El análisis financiero desde el punto de vista del operador privado consiste en evaluar el flujo de caja resultante de la diferencia entre el costo que supone sustituir progresivamente viejos autobuses movidos por diésel (que cumplen un estándar de emisiones Euro III o inferior) por una flota de nuevos autobuses

híbridos o eléctricos y el coste del mismo proceso de sustitución por una flota de nuevos autobuses diésel con estándar de emisiones Euro V o superior.

Dicha diferencia de costo se denomina costo incremental y puede definirse como la inversión necesaria para realizar una sustitución de tecnología (la eléctrica) respecto de otra tecnología (la diésel). Un valor positivo de la suma de los flujos anuales de esas diferencias indica la posible viabilidad del proyecto. Este análisis se realiza en el ámbito financiero y depende de la tasa de descuento elegida.

El modelo financiero usado es una adaptación y corrección del VICE 2.0 (Vehicle and Infrastructure Cash-Flow Evaluation Model) (Mitchell, 2015)³, que fue desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos para ayudar a operadores de flotas que

³ Este documento puede considerarse como el manual original en inglés del modelo VICE 2.0 (Vehicle Infrastructure Cash-flow Evaluation, Evaluación del flujo de caja de vehículo e infraestructura) (Mitchell, 2015). La hoja Excel de modelo VICE puede descargarse en este enlace <http://lists.nrel.gov/t/113175/305379/73219/0/>

proyectan adoptar como fuente de energía el gas natural comprimido (GNC) a pesar de la solidez financiera y apoyar la toma de decisiones. El modelo se desarrolla en un soporte de hoja Excel y tiene originalmente variables y parámetros de operación y rendimientos propios del GNC. El modelo VICE 2.0 ha sido revisado por el consultor del presente estudio para cualquier modo de energía, traducido al español y adaptado para unidades del Sistema Internacional de Medidas y, por tanto, mejorado y adaptado al presente estudio.

El análisis financiero tiene las siguientes características:

- **Metas:** sustitución de un porcentaje pequeño (10 %), mediano (20 %) y grande (40 %) del total de la flota de autobuses en Bogotá, Quito, Montevideo y Santiago.
- **Escenario base:** sin cambios en los precios de los combustibles y sin incentivos para la adquisición de e-buses, durante toda la evaluación financiera.
- **Análisis de sensibilidad** respecto del escenario base:
 - Incentivo público en la inversión de adquisición del vehículo tipo de hasta USD 40.000.
 - Incremento del precio de los combustibles fósiles en un 3 % anual.
 - Arrendamiento de las baterías.
 - Variación del precio de la energía eléctrica.

A continuación se exponen las consideraciones y supuestos que guiaron los ejercicios de estimación de los valores actuales del costo incremental de la adopción de energía eléctrica en lugar de diésel (Euro V) en el ejemplo de una flota de autobuses en Bogotá, Quito, Montevideo y Santiago.

- **El tiempo de evaluación del proyecto es de 20 años.**
- **Costos de inversión.** Se consideran, como hipótesis inicial, los siguientes costos de inversión para los siguientes autobuses nuevos:

- Precio actual de autobuses diésel Euro V de 12 metros: USD 155.000⁴.
- Precio actual de autobús diésel marca Volvo modelo B215RH 4X2 híbrido: USD 290.000⁵.
- Precio actual de autobús diésel Volvo B7R Euro V: USD 192.000⁶.
- Precio actual de autobús eléctrico BYD K9: USD 432.000⁷.

- **Se introducen incrementos de precios anuales de los combustibles por medio de un porcentaje de crecimiento anual.** Para el modelo base se ha supuesto que no hay incrementos de precio, pero en los análisis de sensibilidad sí que se considerarán estas variaciones para ver cómo afectan al modelo base. En particular, se ha considerado como supuesto posible que favorece la electromovilidad el incremento de precio de los combustibles fósiles a razón de un 3 % anual y la congelación de la tarifa eléctrica para la movilidad en el transporte público.
- **Se incluyen exenciones de impuestos en los precios de los combustibles.** Es posible reducir el impuesto para un determinado carburante, bien en parte o bien por completo. Para el modelo base no se han tenido en cuenta, exceptuando algún caso en el que los combustibles fósiles están subsidiados, como Quito y Montevideo.
- **Se introducen subvenciones para la adquisición de vehículos e infraestructura de suministro de energía** mediante un porcentaje del costo de adquisición incremental. Para el modelo base no se ha tenido en cuenta.
- **Variación del costo diferencial de adquisición entre el e-bus y el bus diésel en un determinado año del proyecto.** Se ha tenido en cuenta para todos los modelos base, ya que es de suponer que dentro de 15 años más fabricantes poseerán la tecnología eléctrica y el precio de esta habrá disminuido para ser más competitiva. Bajo esta hipótesis de mercado futuro, se supone una reducción de un 40 % del costo incremental del vehículo tipo eléc-

4 Basado en datos recopilados y publicados en Grütter, 2015.

5 Fuente: Grütter, 2015.

6 Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

7 Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

trico en el año 15 para cualquier porcentaje de sustitución de flota. Un crecimiento tan significativo del mercado implicaría una mayor competitividad del mismo, tanto en el desarrollo de la tecnología como en la disminución del precio de los e-buses⁸.

Inicialmente, se muestran los resultados de valor presente neto (VPN) para el modelo base.

Posteriormente, se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados del modelo base frente a variaciones en los precios de los combustibles fósiles y los costos de adquisición de los vehículos eléctricos. Dicho análisis de sensibilidad se realiza variable a variable (por ejemplo, variación del precio del carburante), o bien combinando varias variables (variación del precio del carburante más subvenciones a la adquisición del e-bus).

⁸ Joachim Drees, CEO de la empresa fabricante de buses MAN SE, afirma que los primeros autobuses eléctricos que venderá su empresa a partir de 2019 costarán alrededor de 500.000 euros, pero que en cuatro años los costes se igualarán a los de combustión.

06 ● ● Proceso de implementación de la electromovilidad en Bogotá

Descripción del estado de la flota de autobuses

En Bogotá, en el año 2000 se puso en marcha el Transmilenio, un sistema de transporte masivo del tipo Bus de Tránsito Rápido (conocido por sus siglas en inglés BRT) con carriles exclusivos.

En 2006, la Secretaría Distrital de Movilidad de la Alcaldía Mayor de Bogotá puso en marcha el Plan Maestro de Movilidad (PMM) mediante el “Decreto 319 de 2006, por el cual se adopta el Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital, que incluye el ordenamiento de estacionamientos, y se dictan otras disposiciones”.

El PMM define que el sistema de movilidad se estructura a partir del sistema de transporte masivo y sus componentes. Por esta razón, uno de los proyectos más importantes del PMM ha sido el diseño y puesta en marcha del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP).

En la actualidad, el SITP es organizado y gestionado por Transmilenio S.A., que es la empresa operadora del sistema BRT de Bogotá.

De un total de 16.029 unidades de autobús:

- 9.717 unidades se integran en el SITP, que supone el 60,6 % de la flota.
- 6.312 unidades son transporte colectivo tradicional, que supone el 39,4 % de la flota.

En 2017, el porcentaje de introducción de la electromovilidad en el sistema de transporte en autobús en Bogotá era de 436 unidades, el 2,72 % del total de la flota. La mayoría correspondía a autobuses híbridos diésel-eléctricos y tan solo una unidad era eléctrica a baterías, según se indica en el cuadro 6.1.

Cuadro 6.1

Flota de autobuses de Bogotá en 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Transmilenio (enero, 2017)

N° UNIDADES DE BUS 2017	DIÉSEL O BIODIÉSEL						GAS	ELÉCTRICO	DIÉSEL-ELÉCTRICO	TOTAL	
	BOGOTÁ	HASTA EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 4F	EURO 5	EURO 6	GNV EURO 6	BATERÍA ELÉCTRICA		HÍBRIDO DE
Buseta/microbús < 12 m	6.460	2.725	0	0	0	0	0	0	0	0	9.185
Autobús básico/ BRT 12-14 m	3.608	1.031	0	0	0	0	27	0	0	435	5.100
BRT articulado 18-20 m	0	716	717	0	0	0	0	1	0	0	1.434
BRT biarticulado > 20 m	0	0	0	0	310	0	0	0	0	0	310
TOTAL	10.068	4.472	717	0	310	0	27	1	0	435	16.029
%	62,81 %	27,90 %	4,47 %	0,00 %	1,93 %	0,00 %	0,17 %	0,01 %	0,01 %	2,71 %	100,00 %

El Plan de Ascenso Tecnológico (PAT), adoptado mediante el Decreto 477 de 2013 (Alcaldía de Bogotá, 2013), tiene por objetivo mejorar la calidad del aire y reducir los impactos en la salud pública, a través de la implementación de tecnologías de cero o bajas emisiones en la flota de Transmilenio y el SITP.

El PAT se orienta al cumplimiento de las metas de reducción de consumos de energía, establecidas en la Resolución Nacional 18-0919 de 2010 emanada por el Ministerio de Minas y Energía o por aquella que la sustituya, derogue o modifique, para el subsector prioritario de Transporte; con el propósito de avanzar en la sustitución de combustibles fósiles e introducir energía eléctrica en el servicio de transporte público de pasajeros que permita hacer alcanzable el uso eficiente de la energía (Decreto 477, Art. 2°, segundo párrafo).

Si se cumplen las metas planteadas para lograr los objetivos del Plan de Ascenso Tecnológico de Bogotá, el escenario tendencial es una flota de autobuses en la que la tecnología predominante será la diésel de bajas emisiones Euro V o Euro VI.

En el escenario 2030, un reparto de tecnologías razonable sería:

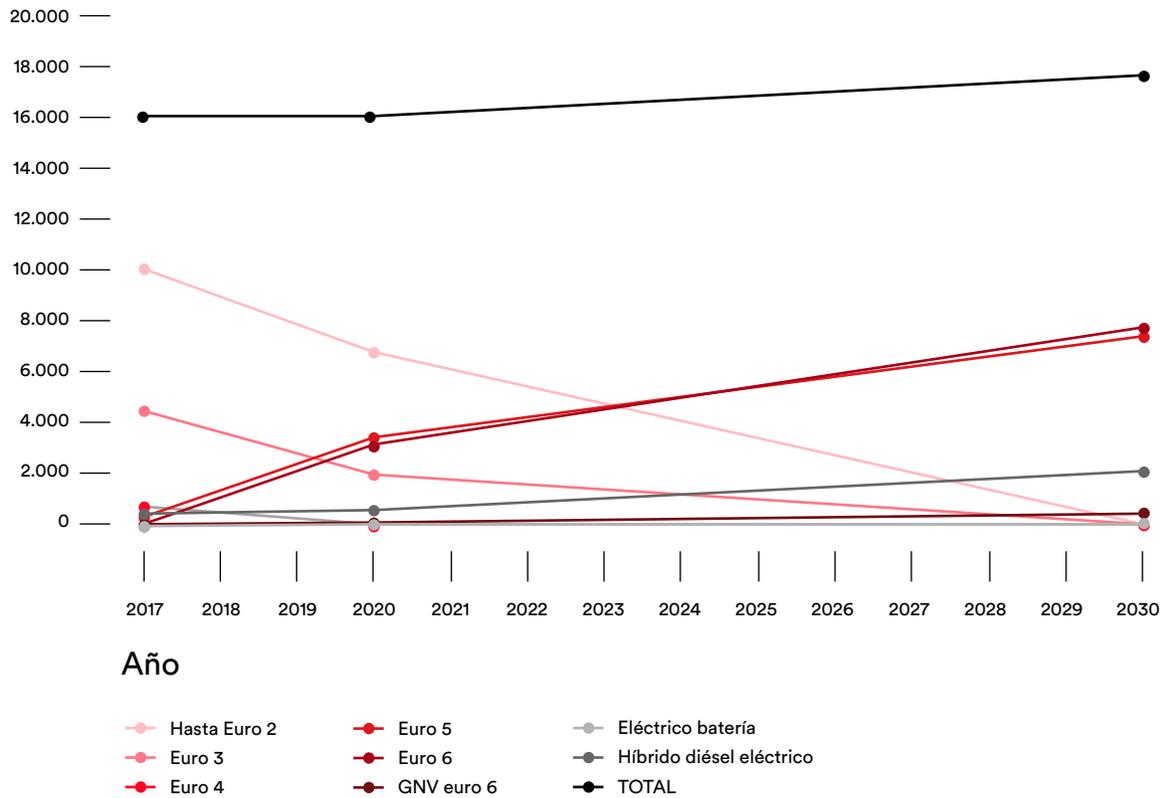
- Tecnología diésel Euro V y Euro VI: el 85,8 % de la flota de autobuses.
- Tecnología híbrida diésel-eléctrica: el 11,7 % de la flota de autobuses
- Tecnología Gas Natural Vehicular Euro VI: el 2,3 % de la flota de autobuses.
- Tecnología eléctrica a batería: el 0,1 % de la flota de autobuses.

Figura 6.1

Evolución prevista de la flota de autobuses de Bogotá 2017-2030

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de Transmilenio (diciembre, 2017)

**Nº Unidades
flota de autobuses**



Acciones emprendidas en materia de electromovilidad

En Bogotá, se han emprendido las acciones con relación a nuevas tecnologías en autobuses indicadas en el cuadro 6.2.

Como se puede apreciar, se han emprendido acciones de pruebas y sustitución de flotas en buses híbridos diésel-eléctricos. Los buses eléctricos todavía están en pruebas y ningún operador ha efectuado aún sustituciones de flota.

Desde el 15 de abril de 2014, la solución de movilidad en la Carrera Séptima se basa en la operación de 200 autobuses híbridos diésel-eléctricos. En Bogotá,

también son conocidos como buses padrón dual: padrón en referencia a la circulación por la red troncal de BRT y dual en referencia a la dualidad energética, diésel y eléctrica.

En 2017, en Bogotá circulaban 435 autobuses híbridos diésel eléctricos, que suponían el 2,71 % de los autobuses totales de Bogotá y el 4,48 % de la flota del SITP.

Este modelo de autobús VOLVO B215RH participó en las pruebas piloto que se realizaron en Bogotá en 2013 en el marco del “Programa de Pruebas de Buses Híbridos y Eléctricos”, iniciativa diseñada e implementada por el Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades C40 en alianza con la Iniciativa Clinton para el Clima y con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Los resultados del programa están publicados en el documento “Las tecnologías de

Cuadro 6.2

Historial de acciones relacionadas con nuevas tecnologías en autobuses en Bogotá

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Transmilenio (diciembre, 2017)

AÑO	TIPO DE VEHÍCULO	MODELO	CAPACIDAD (PAX)	NECESIDAD DE NUEVA INFRAESTRUCTURA	Nº UNIDADES	OPERADOR
2013-2014	Bus híbrido diésel-eléctrico	VOLVO B215RH	80	NO	1 unidad en pruebas *	Express del Futuro
2013	Eléctrico baterías	BUS K 9 ANDINO BYD V1	80	SI		Express del Futuro
2013	Eléctrico baterías	BUS K 9 ANDINO BYD V2	80	SI		Express del Futuro
2014	GNV	Euro VI SCANIA K340	120	SI		Masivo Capital
2015	Bus híbrido diésel-eléctrico	HIGER-SIEMENS	80	NO	1 unidad en pruebas	Empresas de Energía de Bogotá
2015	Bus híbrido diésel-eléctrico	VOLVO B215RH	80	NO	350 unidades en servicio	Gmovil, Summa, Este Es Mi Bus, Consorcio Express
2015	GNV	SCANIA K280 GNV Euro 6	80	SI	27 unidades en servicio	Masivo Capital
2017	Eléctrico baterías	EBUS ANDINO 18 BYD	160	SI	1 unidad en pruebas en troncal	Transmasivo

* Los resultados del programa están publicados en BID, Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades C40 y Fundación Clinton (2013).

bajo carbono pueden transformar las flotas de buses en Latinoamérica” (BID, Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades C40 y Fundación Clinton, 2013).

Figura 6.2

Bus híbrido diésel eléctrico

Fuente: Empresa operadora Grupo Express



El Programa midió las emisiones y el consumo energético de 17 buses híbridos y eléctricos en las ciudades de Bogotá, São Paulo, Río de Janeiro y Santiago, que pasaron por 30 horas de pruebas cada uno bajo

condiciones reales de conducción en recorridos de buses definidos por las autoridades locales y los operadores de transporte de las ciudades participantes. Los principales resultados de la fase técnica del Programa respecto de los buses híbridos fueron:

- Reducción de emisiones de CO₂ hasta en un 35 % (26 % promedio) comparado con los buses diésel de referencia.
- Las reducciones promedio de emisiones contaminantes locales estuvieron entre el 60 % y el 80 %.
- Disminución del 30 % en consumo de combustible.
- Un costo inicial de compra superior al de los buses tradicionales en aproximadamente 50-60 %.
- La batería de fosfato de hierro con iones litio tienen una vida útil estimada en 5.000 ciclos de carga-descarga. Su reciclaje requiere de muy buenas prácticas medioambientales.

Se emplean tecnologías para mejorar la eficiencia, tales como el frenado regenerativo, que convierte la energía cinética del vehículo en energía eléctrica para cargar la batería en lugar de disipar la energía en forma de calor cada vez que el vehículo frena.

Análisis financiero desde el punto de vista del operador

Hipótesis

El proyecto energético de Bogotá consiste en la introducción de autobuses híbridos de 12 metros en un horizonte temporal de implantación de los nuevos vehículos de 5 años y en analizar la operación durante los 15 años de vida útil.

El tiempo de evaluación del proyecto es de 20 años.

Como objetivo final, se contemplan las metas de sustitución de flota de buses presentadas en el cuadro 6.3.

Cuadro 6.3
Procesos de sustitución de flota de buses en Bogotá simulados

Fuente: Elaboración propia

PROCESO DE SUSTITUCIÓN DE FLOTA EN BOGOTÁ			
TIPO	10 %	20 %	40 %
Bus híbrido de 12 m	1.600	3.205	6.410
Bus diésel existentes	14.429	12.824	9.619
Nº total buses	16.029	16.029	16.029

Se generan varios escenarios para analizar la sensibilidad del modelo e intentar obtener el punto de equilibrio (la flota mínima para la cual el proyecto se considera viable), considerando como objetivo final la sustitución del 40 %, el 20 % y el 10 % de la flota por autobuses híbridos y el resto por vehículos diésel Euro V.

Los autobuses híbridos se empezarán a sustituir a partir del año 15, a razón de su vida útil. A partir del año 15 de implantación del proyecto, año en el que se tiene que renovar la flota de buses híbridos, se supone una reducción del costo de adquisición del vehículo tipo de un 40 % para el escenario base.

La infraestructura vial es la misma para ambos tipos de energía, por lo que no se va a considerar en el análisis.

Respecto de la infraestructura en instalaciones de energía, el aspecto diferenciador en este proyecto es la implantación de una red privada de puntos de recarga en las empresas, estimando una inversión media de USD 3.000 por punto de recarga privada para un cargador rápido de 40 minutos. En el modelo VICE 2.0, se supone un ratio de punto de recarga eléctrico de 0,05 puntos de recarga/unidad de vehículo eléctrico, es decir, se precisa de una estación por cada 20 buses híbridos enchufables. Se estima que los vehículos híbridos operan con un 70 % de consumo de combustible fósil y un 30 % de consumo de energía eléctrica.

El escenario base considera un punto de partida en el que se suponen los siguientes costos de adquisición incrementales del precio del bus híbrido frente al de diésel Euro V:

- Precio actual del autobús diésel Euro V de 12 m para Bogotá: USD 155.000⁹.
- Precio del autobús diésel marca Volvo modelo B215RH 4X2 híbrido: USD 290.000¹⁰.
- Costo de adquisición incremental respecto del diésel de USD 215.000 (incluye el precio de adquisición de baterías cada cuatro años, al ser esta su vida útil, estimado en 40.000 USD/cambio de baterías).

$$\text{USD } 290.000 + (2 \times \text{USD } 40.000) - \text{USD } 155.000 = \text{USD } 215.000$$

- Costo de adquisición incremental respecto del diésel, a los 15 años, de USD 19.000. Se introduce la hipótesis de disminución del precio de adquisición del bus híbrido por competencia de mercado, reduciendo un 40 % dicho precio. En este caso, la inversión en sustitución de baterías queda más allá de los 20 años, por lo que no se tiene en cuenta.

$$(\text{USD } 290.000 \times 0,6) - \text{USD } 155.000 = \text{USD } 19.000$$

Se considera una tasa de descuento para Bogotá del 10 %.

También se ha analizado el proyecto de introducción de autobuses eléctricos en Bogotá de forma análoga al híbrido.

⁹ Basado en datos recopilados y publicados en Grütter, 2015.

¹⁰ Fuente: Grütter, 2015.

Resultados

Los resultados obtenidos para el modelo base de cada proyecto, previamente descrito para cada meta (% de sustitución), se muestran en el cuadro 6.4

Las conclusiones de la modelación del escenario base son:

- **Viabilidad financiera.** No se produce un VAN positivo del modelo para ningún porcentaje de la flota eléctrica. Por lo tanto, el proyecto de introducción de autobuses híbridos no es viable financieramente para los porcentajes de flota de sustitución estudiados en el escenario base.
- **Punto de equilibrio del modelo.** El VPN económico es negativo para cualquier porcentaje de introducción de flota eléctrica, es decir, no se consigue el punto de equilibrio en el modelo a estudiar.
- **Período de retorno (payback).** El período de retorno es de 19,5 años para todos los porcentajes de sustitución de flota estudiados.
- **Ahorro de combustible fósil.** El ahorro de combustible fósil para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del

40 %, supone 803.955 de toneladas equivalentes de petróleo (tep), que, distribuidas en los 20 años del proyecto, representan una media de casi 40.198 tep/año.

- **Ahorro de gases de efecto invernadero.** El ahorro en términos de emisiones para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 %, supone un ahorro de 2.191.862 t de CO₂, que, distribuidas en los 20 años de proyecto, representan una media de 109.593 t de CO₂/año.
- **Costos de inversión.** El principal costo de inversión se realiza en la adquisición de la flota de autobuses híbridos, siendo el del objetivo del 40 % cuatro veces superior al del objetivo del 10 %. El porcentaje de inversión en la infraestructura de suministro respecto de la inversión total es aproximadamente del 0,064 % para cualquier tamaño de sustitución de flota.
- **Valoración monetaria del ahorro de emisiones¹¹ de CO₂.** A título informativo, la expresión monetaria del ahorro de emisiones de CO₂ es de USD 18.302.044 para un 40 % de sustitución, lo que supone el 1,22 % del total de inversión del proyecto energético para cualquier tamaño de sustitución de flota.

Cuadro 6.4
Resumen de resultados del escenario base de los proyectos de sustitución en Bogotá

Fuente: Elaboración propia

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	RESULTADOS ESCENARIO BASE				
		ECONÓMICOS		AMBIENTALES		
		VPN (USD)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO ₂ (USD)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	-289.707.253	-	200.675	547.111	4.568.373
	20 %	-580.319.381	-	401.977	1.095.931	9.151.022
	40 %	-1.160.639.684	-	803.955	2.191.862	18.302.044
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	-210.892.786	-	668.917	1.574.375	13.146.031
	20 %	-422.444.612	-	1.339.925	3.153.670	26.333.144
	40 %	-844.889.224	-	2.679.850	6.307.340	52.666.288

¹¹ En el modelo, se valora cada tonelada de CO₂ dejada de emitir a 8,35 USD. Este valor multiplicado por las toneladas de CO₂ ahorradas por la introducción del proyecto es la expresión monetaria del ahorro de emisiones de gas de efecto invernadero (véase la serie histórica emisiones de carbono en www.es.investing.com).

Para mejorar el análisis financiero, se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados anteriores frente a variaciones de hipótesis de financiamientos en la adquisición de los vehículos eléctricos (de hasta USD 40.000 por unidad), la variación del precio de los combustibles fósiles (incremento del 3 % anual) u optando por el arrendamiento de las baterías (a un precio de 0,15 USD/km).

Con los cambios de las variables, se consigue el balance financiero positivo del proyecto de sustitución de la flota de autobuses por vehículos híbridos en Bogotá, suponiendo un escenario en el que la energía eléctrica tenga una tarifa especial para el transporte público, con una exención de tasas del 92,4 % respecto a la tarifa actual de energía eléctrica. Dicho escenario es difícilmente alcanzable en la realidad.

También se ha analizado el proyecto de introducción de autobuses eléctricos en Bogotá de forma análoga al híbrido. Como conclusión se deduce que el proyecto solo es viable financieramente en el caso de que

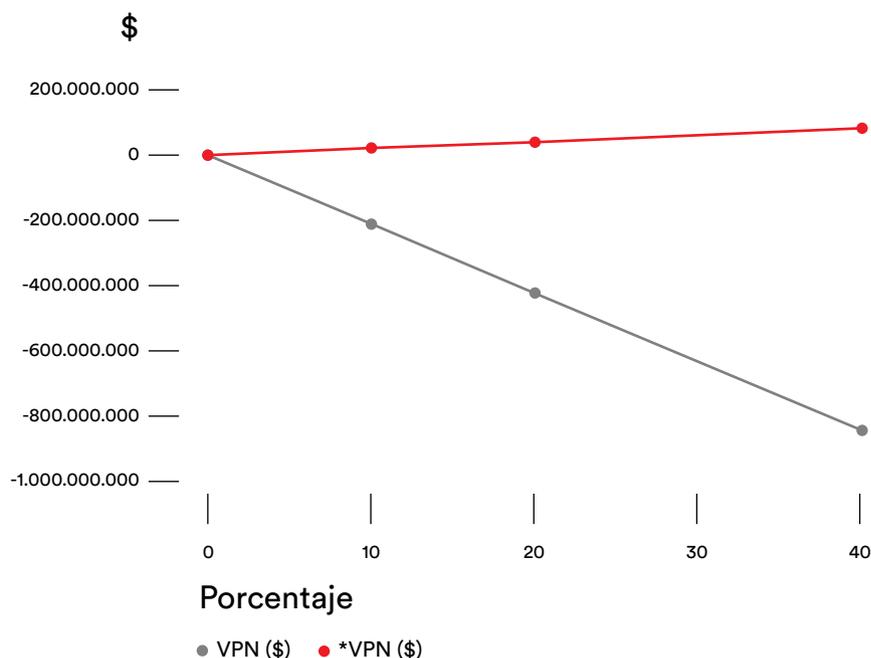
los operadores opten por el *leasing* de las baterías y que se produzca una exención de impuestos del precio de la energía eléctrica del 30 %, obteniendo los resultados reflejados en el cuadro 6.5.

Cuadro 6.5
Valor presente neto (VPN) de cada uno de los objetivos de sustitución en Bogotá

Fuente: Elaboración propia

OBJETIVO DE SUSTITUCIÓN	VPN (\$)	TIR (%)	*VPN (\$)	TIR (%)
40 %	-844.889.224	-	83.695.747	16.78 %
20 %	-422.444.612	-	41.847.874	16.78 %
10 %	-210.892.786	-	0.891.294	16.78 %

Figura 6.3
Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías y exención de impuestos del 10 % del precio de la energía eléctrica
Fuente: Elaboración propia



En gris VPN modelo base y en rojo VPN modelo con arrendamiento de las baterías y exención de impuestos del 10 % del precio de la energía eléctrica.

07 ● ● Proceso de implementación de electromovilidad en Quito

Descripción del estado de la flota de autobuses

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con 62 operadores de transporte público, entre los que se encuentran tres compañías de transporte intraparroquial, 12 compañías de transporte interparroquial y 47 compañías de transporte urbano.

La flota de las empresas de transporte convencional la conforman 2.321 autobuses. Se encuentra compuesta principalmente por vehículos de tecnología Euro III. Esto se debe a que actualmente el combustible del Ecuador tiene una composición de 300 a 500 partes por millón de azufre, lo que no permite el empleo de tecnologías más limpias de forma eficiente.

Metrobus-Q es como se conoce al sistema de corredores exclusivos de transporte público de la ciudad de Quito, cubierto por autobuses biarticulados BRT y normales que sirven como alimentadores de los

corredores y que se desplazan hacia los sectores a los que no llegan los anteriores. El sistema de autobuses, conformado por tres redes (troncales), es parte de uno mayor, denominado Sistema Integrado de Transporte Metropolitano (SITM-Q), que administra la totalidad de los sistemas de transporte masivo de la ciudad, tanto públicos como privados, y que incluye otros modos de transporte, como la primera línea de metro de Quito y dos líneas de cable en la ciudad, ambos modos en fase de estudio y de construcción.

La Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito (EPMTP), creada en 2010, tiene asignadas las siguientes atribuciones:

- Operar y administrar el servicio de transporte público de pasajeros en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Brindar asesoría técnica especializada a instituciones públicas o privadas, nacionales o extranjeras, en el ámbito del transporte.

- Explotar el corredor central trolebús del sistema integrado de transporte Metrobús Q de acuerdo con las disposiciones adoptadas por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Las demás actividades operativas y de prestación de servicios relativas a las competencias que le corresponden al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, de conformidad con el ordenamiento jurídico nacional y metropolitano, en el ámbito de gestión del servicio público de transporte de pasajeros, y cumplir con las demás actividades encomendadas por el Directorio.

En el informe de gestión de 2016, se indica que la flota operativa de las redes troncales está formada por 328 unidades: 87 trolebuses, 157 articulados, 4 autobuses tipo y 80 nuevos biarticulados.

Las redes troncales están alimentadas por 46 rutas alimentadoras, que tienen recorridos más cortos e intervalos de circulación de entre 10 y 20 minutos. La flota destinada a estas rutas está constituida por 301 autobuses rígidos diésel de 12 m.

Además de la red troncal, existen 222 rutas intracantonales urbanas de servicio convencional cubiertas por 47 operadores privados que no están integrados en la EPMTTP de Quito. Se estima una cantidad de 2.321 autobuses de todo tipo para realizar estos servicios. Esta flota supone el 79 % del total de los autobuses de Quito. Los vehículos, de acuerdo con la norma vigente en el país, tienen una vida útil de 20 años. El

44 % de esta flota tiene una edad inferior a 5 años y tan solo un 2 % tiene una edad superior a 15 años. El 70 % de la flota es del año 2004 al 2014, es decir, en general, la operación de transporte se realiza con una flota con una antigüedad promedio de 10 años.

Figura 7.1
Trolebús (arriba) y autobús diésel (abajo) en Quito
Fuente: EPMTTP de Quito



Cuadro 7.1
Flota de autobuses de Quito en 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la EPMTTP (s.f.) de Quito

Nº UNIDADES DE BUS 2017	DIÉSEL O BIODIÉSEL						GAS		ELÉCTRICO		DIÉSEL-ELÉCTRICO		TOTAL
	HASTA EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 4F	EURO 5	EURO 6	GNV EURO 6	BATERÍA ELÉCTRICA	TROLEBÚS	HÍBRIDO DE			
Buseta/microbús < 12 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Autobús básico/BRT 12-14 m	2.321	301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.622	
BRT articulado 18-20 m	37	155	40	0	0	0	0	1	87	0	0	320	
BRT biarticulado > 20 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	2.358	456	40	0	0	0	0	1	87	0	0	3.021	
%	80,15 %	15,50 %	1,36 %	0	0	0	0	0,03	2,95 %	0	0		

Acciones emprendidas en materia de electromovilidad

En 1995, la primera red troncal, la Central, ya se diseñó con trolebuses articulados de piso alto. En la actualidad, existen en operación 87 trolebuses articulados.

En diciembre de 2017, un autobús articulado eléctrico a baterías inició un periodo de pruebas de tres meses en el corredor Central Norte para evaluar sus parámetros operacionales. Este bus eléctrico funciona con seis paquetes de baterías, que producen una potencia de 360 kW/h y requieren tres horas para recargarse. Si las pruebas resultan exitosas, es posible que se sustituya la flota de 60 articulados diésel por el modelo eléctrico.

En la actualidad, no existe un plan oficial de implementación de flota de autobuses eléctricos. Debido a la obsolescencia del material rodante de los trolebuses, estos se están reemplazando por autobuses diésel Euro III o Euro IV articulados y biarticulados. Los esfuerzos de la administración se están centrando en remodelar todo el SITP-Q que engloba diferentes modos (bus, cable y metro) y que supondrá una redistribución de ofertas y demandas considerable.

Los nuevos corredores construidos después del corredor central también emplean la tecnología diésel. Así pues, el proceso de renovación de flota iniciado en Quito es el inverso del considerado en el presente estudio, perdiendo la electromovilidad terreno frente al diésel.

Análisis financiero desde el punto de vista del operador

Hipótesis

Este proyecto de sustitución de flota consiste en la introducción de autobuses eléctricos (e-buses) de 12 metros en Quito, en un horizonte temporal de implantación de los nuevos vehículos de 5 años, y analizar la operación durante 15 años de vida útil.

El tiempo de evaluación del proyecto es de 20 años.

Como objetivo final, se contemplan las metas de sustitución de flota de buses reflejadas en el cuadro 7.2.

Cuadro 7.2 Procesos de sustitución de flota de buses en Quito simulados

Fuente: Elaboración propia

PROCESO DE SUSTITUCIÓN DE FLOTA EN QUITO			
TIPO	10 %	20 %	40 %
E-bus de 12 m	300	600	1.205
Buses diésel existentes	2.721	2.421	1.816
Nº total buses	3.021	3.021	3.021

Se generan varios escenarios para analizar la sensibilidad del modelo y obtener el punto de equilibrio (la flota mínima para la cual el proyecto se considera viable), considerando como objetivo final la sustitución del 40 %, el 20 % y el 10 % de la flota por autobuses eléctricos y el resto por vehículos diésel.

Los autobuses eléctricos se empezarán a retirar a partir del año 15, a razón de su vida útil. A partir del año 15 de implantación del proyecto, se supone una reducción del costo de adquisición del vehículo tipo de un 40 %. Una reducción del costo incremental del vehículo tipo supone una mejora sustancial del VPN.

La **infraestructura vial** es la misma para ambos tipos de energía, por lo que no se va a considerar en el análisis.

Respecto a la **infraestructura en instalaciones de energía**, el aspecto diferenciador en este proyecto es la implantación de una red privada de puntos de recarga en las empresas, estimando una inversión media de USD 3.000 por punto de recarga privada, para un cargador rápido de 40 minutos. En el modelo VICE 2.0 se supone un ratio de punto de recarga eléctrico de 0,10 puntos de recarga/unidad de vehículo eléctrico, lo que significa que se precisa de una estación por cada 10 e-buses enchufables. Este valor es más elevado que para los buses híbridos porque las baterías de un e-bus (eléctrico puro) son más potentes que las de un bus híbrido.

El escenario base considera un punto de partida en el que se suponen los siguientes costos de adquisición incrementales del precio del e-bus frente al diésel Euro V:

- Precio actual del autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico): USD 432.000¹².
- Precio actual del autobús diésel Volvo B7R Euro V: USD 192.000¹³.
- Costo de adquisición incremental respecto del diésel de USD 240.000.

$$\text{USD } 432.000 - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 240.000$$

- Costo de adquisición incremental respecto del diésel a los 15 años de USD 67.200, considerando una reducción del precio en el e-bus por competencia de mercado del 40 %.

$$(\text{USD } 432.000 \times 0,60) - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 67.200$$

Se considera una tasa de descuento del 12 %.

Resultados

Los resultados del escenario base para cada meta en Quito se muestran en el cuadro 7.3.

Las conclusiones de la modelación son:

- **Viabilidad financiera.** No se produce un VPN positivo del modelo para ningún porcentaje de la flota eléctrica. Por lo tanto, el proyecto de introducción de e-buses no es viable financieramente desde el punto de vista de los operadores para los porcentajes de sustitución de flota estudiados.
- **Punto de equilibrio del modelo.** El VPN es negativo para cualquier porcentaje de introducción de flota eléctrica, es decir, no se consigue un punto de equilibrio en el modelo a estudiar.
- **Periodo de retorno (payback).** El periodo de retorno es de 19,5 años para todos los porcentajes de flota estudiados.
- **Ahorro de combustible fósil.** El ahorro de combustible fósil para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es 4 veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 %, supone 479.789 tep, que, distribuidas en los 20 años del proyecto, representan una media de casi 23.989 tep/año.
- **Ahorro de gases de efecto invernadero.** El ahorro en términos de emisiones para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 %, supone un ahorro de 770.884 t de CO₂, que, distribuidas en los 20 años de proyecto, representan una media de 38.544 t de CO₂/año.

Cuadro 7.3
Resultados del proyecto de e-buses por metas en Quito
Fuente: Elaboración propia

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	RESULTADOS ESCENARIO BASE				
		ECONÓMICOS		AMBIENTALES		
		VPN (\$)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO ₂ (\$)
QUITO (eléctrico)	10 %	-57.139.841	-	119.450	191.921	1.602.542
	20 %	-114.279.682	-	238.899	383.899	3.205.084
	40 %	-229.511.695	-	479.789	770.884	6.436.878

¹² Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

¹³ Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

- **Costos de inversión.** El principal costo de inversión corresponde a la adquisición de la flota de autobuses eléctricos, siendo el del objetivo del 40 % cuatro veces superior al del objetivo del 10 %. El porcentaje de inversión de la infraestructura de suministro respecto de la inversión total es aproximadamente del 0,10 % para cualquier objetivo de flota.
- **Valoración monetaria del ahorro de emisiones de CO₂.** A título informativo, la expresión monetaria del ahorro de emisiones de CO₂ es de USD 6.436.878, lo que supone el 1,74 % del total de inversión del proyecto energético para cualquier porcentaje de flota.

El análisis de sensibilidad refleja una mejora significativa del modelo para las siguientes situaciones:

- Incentivo fiscal para la adquisición de los e-buses de hasta 40.000 USD/unidad. Beneficia al modelo, pues la adquisición de los vehículos supone gran parte de la inversión del proyecto. Aun así, se obtiene un VPN negativo.
- Incremento del precio del combustible fósil del 3 % anual. Supone una mayor diferencia con respecto

al costo de la energía eléctrica. Aun así, se obtiene un VPN negativo.

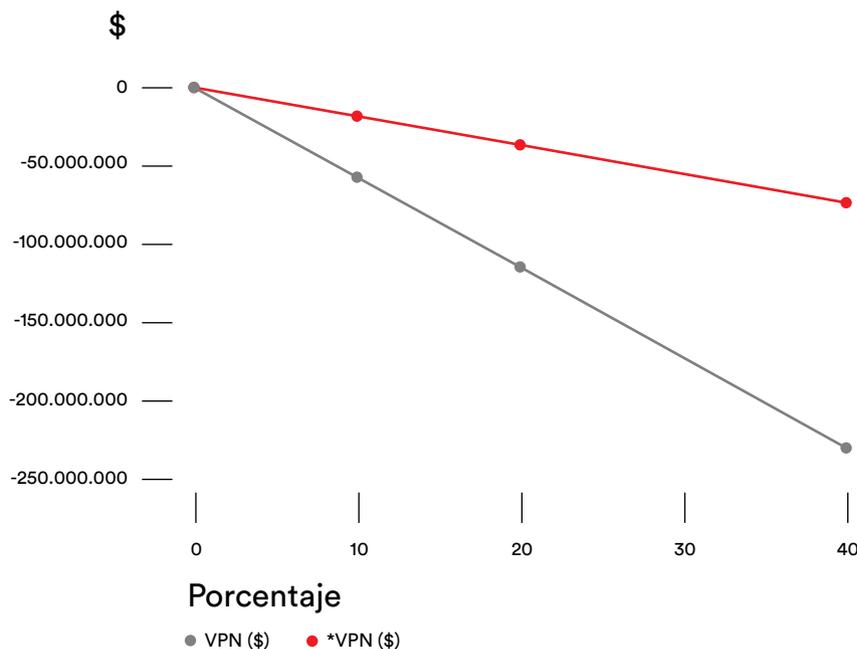
- Arrendamiento de las baterías a un precio de 0,15 USD/km. Permite disminuir considerablemente la inversión de adquisición en vehículos tipo, así como el costo de mantenimiento de los mismos, siendo más rentable que la adquisición del vehículo tipo completo. Aun así, se obtiene un VPN negativo.

Cuadro 7.4
Valor presente neto (VPN) para cada uno de los objetivos de sustitución en Quito

Fuente: Elaboración propia

OBJETIVO DE SUSTITUCIÓN	VPN (\$)	*VPN (\$)
40 %	-229.511.695	-73.387.890
20 %	-114.279.682	-36.541.688
10 %	-57.139.841	-18.270.844

Figura 7.2
Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías
Fuente: Elaboración propia



En gris VPN modelo base y en rojo VPN modelo con arrendamiento de las baterías.

Como conclusión final, pese al importante ahorro de combustible y de gases de efecto invernadero, la sustitución de flota con e-buses en Quito no es viable financieramente para los operadores, comparada con un proceso similar de sustitución de flota realizada con tecnología diésel Euro V. La sustitución seguiría siendo inviable incluso si la energía eléctrica fuera gratuita, debido a los bajos precios del diésel que existen actualmente.

08 ●● Proceso de implementación de electromovilidad en Montevideo

Descripción del estado de la flota de autobuses

El Sistema de Transporte Metropolitano (STM) es un sistema integrado de transporte para Montevideo y el territorio metropolitano que tiene como objetivo fortalecer el proceso de democratización de la movilidad de las personas. Transporta un alto volumen de pasajeros a lo largo de rutas autorizadas por la Intendencia de manera rápida, segura y confiable.

El transporte público colectivo de pasajeros en el departamento está regulado por la Intendencia de Montevideo en todos sus aspectos, tanto operativos (líneas y frecuencias) como económicos (tarifa). La Intendencia es responsable de la autorización de tarifas y subsidios, la aprobación de servicios de operación (prestados en carácter de concesión a través del otorgamiento de permisos), el diseño y la aprobación de rutas y estándares de servicio, el control y la supervisión del servicio en general, incluyendo el desempeño económico de los operadores.

El servicio de transporte público colectivo de pasajeros en Montevideo es prestado por cuatro empresas autorizadas, las cuales cuentan con una flota de 1.528 vehículos en funcionamiento y transportan aproximadamente 290 millones de pasajeros anuales.

El Organismo Ejecutor del Plan de Movilidad Urbana es la Intendencia de Montevideo (IM), a través de la Unidad Ejecutiva del Plan de Movilidad, que depende del Departamento de Acondicionamiento Urbano.

El Plan de Movilidad (PM), como instrumento de planificación derivado del Plan Montevideo, recoge las directrices generales establecidas en cuanto a vialidad y transporte; es, sobre todo, un elemento de estructuración territorial, junto con el sistema vial y las áreas productivas y de promoción, centralidades y áreas verdes, considerados en el Plan Montevideo. En tal sentido, está vinculado en sus propuestas a estos componentes del sistema metropolitano.

Figura 8.1
E-bus de Montevideo en pruebas con viajeros desde 2016

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM)



El Plan de Movilidad precisa que el sistema de movilidad se estructura a partir del sistema de transporte masivo y sus componentes. Por esta razón, uno de los proyectos más importantes del PM ha sido el diseño y puesta en marcha del Sistema de Transporte Metroropolitano (STM).

La flota de autobuses en Montevideo en 2017 presentaba la distribución que figura en el cuadro 8.1.

La evolución de la flota entre 1990 y 2015 fue poco significativa, pues tan solo creció un 22,5 %.

En el Plan de Movilidad se prevé la creación de hasta seis corredores BRT, de los cuales solamente el pri-

mero está construido. Sin embargo, en el Plan no se indica ninguna previsión sobre la flota operativa necesaria para operar dicha red.

Acciones emprendidas en materia de electromovilidad

La política del Gobierno uruguayo consiste en sustituir poco a poco el petróleo por la energía eléctrica en el transporte público, para lo cual actualmente evalúa el rendimiento y los costos de incorporar esa tecnología.

En noviembre y diciembre de 2013, se realizaron pruebas de rendimiento y autonomía de un automóvil modelo E6 y de un autobús K9 de la empresa china BYD. Los resultados se recogen en el informe “Pruebas de Campo Bus 100 % Eléctrico Montevideo, Uruguay”, realizado por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), la Intendencia de Montevideo, la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) y BYD.

En mayo de 2016, se iniciaron pruebas de operación con pasajeros mediante el primer autobús eléctrico que se incorporaba a la red de transporte urbano de la capital y que debía servir como experiencia piloto para evaluar su eficiencia de cara a renovar la flota en la próxima década y sustituir las unidades que funcionan con gasoil. Se ha estado probando en todas las líneas y rutas con el objetivo de evaluar su compor-

Cuadro 8.1
Flota de autobuses de Montevideo en 2017

Fuente: Elaboración propia

N° UNIDADES DE BUS 2017	DIÉSEL O BIODIÉSEL						ELÉCTRICO	DIÉSEL-ELÉCTRICO	TOTAL
	HASTA EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 4F	EURO 5	EURO 6	BATERÍA ELÉCTRICA	HIBRIDO DE	
Buseta/microbús < 12 m	514	0	0	0	0	0	0	0	514
Autobús básico/BRT 12-14 m	771	213	0	0	0	0	0	0	1.006
BRT articulado 18-20 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BRT biarticulado > 20 m	0	0	0	0	310	0	0	0	0
TOTAL	1.285	213	0	0	310	0	0	0	1.520
%	84,54 %	14,01 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	100,00 %

tamiento en todos los casos posibles de carga de pasajeros, velocidad y autonomía, entre otros aspectos. La finalización del periodo de pruebas estaba prevista para mayo de 2018.

Así pues, en materia de electromovilidad en Montevideo, se han emprendido acciones de pruebas de e-buses a baterías recargables, primero sin pasajeros (2013) y después con pasajeros (2016-2018), pero ningún operador ha realizado todavía sustituciones reales de flota.

Análisis financiero desde el punto de vista del operador

Hipótesis

Este proyecto energético consiste en la introducción de autobuses eléctricos de 12 metros en Montevideo, en un horizonte temporal de implantación de e-buses de 5 años, y en analizar la operación durante 12 años de vida útil.

El tiempo de evaluación del proyecto es de 20 años.

Como objetivo final, se contemplan las metas de sustitución de flota de buses presentados en el cuadro 8.2.

Cuadro 8.2 Procesos de sustitución de flota de buses en Montevideo simulados

Fuente: Elaboración propia

PROCESO DE SUSTITUCIÓN DE FLOTA EN MONTEVIDEO			
TIPO	10 %	20 %	40 %
Bus híbrido de 12 m	150	300	605
Bus diésel existentes	1.370	1.220	915
Nº total buses	1.520	1.520	1.520

Se generan varios escenarios para analizar la sensibilidad del modelo y obtener el punto de equilibrio (la flota mínima para la cual el proyecto se considera viable), considerando como objetivo final la sustitución del 40 %, el 20 % y el 10 % de la flota por autobuses eléctricos y el resto por vehículos diésel.

Los autobuses eléctricos se empezarán a retirar a partir del año 12, a razón de su vida útil. A partir del año 13 de implantación del proyecto se supone una reducción del costo de adquisición del vehículo tipo de un 40 %. Una reducción del costo incremental del vehículo tipo supone una mejora sustancial del VPN.

La **infraestructura vial** es la misma para ambos tipos de energía, por lo que no se va a considerar en el análisis.

Respecto de la **infraestructura en instalaciones de energía**, el aspecto diferenciador en este proyecto es la implantación de una red privada de puntos de recarga en las empresas, estimando una inversión media de USD 3.000 por punto de recarga privada, para un cargador rápido de 40 minutos. En el modelo VICE 2.0 se supone un ratio de punto de recarga eléctrico de 0,10 puntos de recarga/unidad de vehículo eléctrico, es decir, que se precisa de una estación por cada 10 vehículos eléctricos enchufables.

El escenario base considera un punto de partida en el que se suponen los siguientes costos de adquisición incrementales del precio del e-bus frente al diésel Euro V:

- Precio actual de autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico): USD 432.000¹⁴.
- Precio actual de autobús diésel Volvo B7R Euro V: USD 192.000¹⁵.
- Costo de adquisición incremental respecto del diésel de USD 240.000.

$$\text{USD } 432.000 - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 240.000$$

- Costo de adquisición incremental respecto del diésel a los 12 años de USD 67.200, considerando una reducción del precio en el e-bus por competencia de mercado del 40 %.

$$(\text{USD } 432.000 \times 0,60) - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 67.200$$

Se considera una tasa de descuento del 12 %.

¹⁴ Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

¹⁵ Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

Cuadro 8.3
Resultados del escenario base para diferentes metas en Montevideo
 Fuente: Elaboración propia

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	RESULTADOS ESCENARIO BASE				
		ECONÓMICOS		AMBIENTALES		
		VPN (USD)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO ₂ (USD)
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	-24.662.474	-	62.711	187.620	1.566.625
	20 %	-49.324.947	-	125.422	375.239	3.133.249
	40 %	-99.471.977	-	252.934	756.733	6.318.720

Resultados

Los resultados del escenario base para cada meta en Montevideo se muestran en el cuadro 8.3

Las conclusiones de la modelación son:

- **Viabilidad financiera.** No se produce un VPN positivo del modelo para ningún porcentaje de flota eléctrica. Por lo tanto, el proyecto de introducción de e-buses no es viable financieramente para los porcentajes de flota de sustitución estudiados.
- **Punto de equilibrio del modelo.** El VPN es negativo para cualquier porcentaje de introducción de flota eléctrica, es decir, no se consigue punto de equilibrio en el modelo a estudiar.
- **Periodo de retorno (payback).** El periodo de retorno es de 19,5 años para todos los modelos estudiados.
- **Ahorro de combustible fósil.** El ahorro de combustible fósil para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 % supone 252.934 de tep, que, distribuidas en los 20 años del proyecto, representan una media de casi 12.647 tep/año.
- **Ahorro de gases de efecto invernadero.** El ahorro en términos de emisiones para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 %, supone un ahorro de 756.733 t de CO₂, que, distribuidas en los 20 años de proyecto, representan una media de 37.837 t de CO₂/año.
- **Costos de inversión.** El principal costo de inversión corresponde a la adquisición de la flota de autobuses eléctricos, siendo el del objetivo del 40 % cuatro veces superior al del objetivo del 10 %. El porcentaje de inversión de la infraestructura de suministro respecto de la inversión total es aproximadamente del 0,1 % para cualquier objetivo de introducción de flota.
- **Valoración monetaria del ahorro de emisiones de CO₂.** A título informativo, la expresión monetaria del ahorro de emisiones de CO₂ es de USD 6.300.000 para el objetivo del 40 % de sustitución de la flota. Esto supone el 3,40 % del total de inversión para cualquier objetivo de sustitución de flota.

Se contempla la opción de proceder al arrendamiento de las baterías del autobús eléctrico. Por tanto, al no tener que invertir en las mismas, supone un menor costo incremental de la adquisición del e-bus. En este supuesto se consideran los siguientes costos de adquisición:

- Costo de adquisición incremental del e-bus respecto del diésel de USD 40.000, suponiendo un ahorro en el costo de adquisición de las baterías de USD 200.000.

$$\text{USD } 432.000 - \text{USD } 200.000 - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 40.000$$

- Sin costo de adquisición incremental respecto del diésel a los 12 años.
- Para un arrendamiento de las baterías a un precio de 0,15 USD/km de pago al arrendador,

se estima un incremento en el precio de mantenimiento efectivo de 0,10 USD/km, ya que el operador se ahorra personal propio en mantener las baterías.

TIR del 29,01 % y un periodo de retorno de 6,96 años. Para estos supuestos, los resultados son claramente favorables, llegando a alcanzar un valor positivo del VPN.

El análisis de sensibilidad refleja una mejora significativa del modelo para las siguientes situaciones:

- Incentivo fiscal para la adquisición de e-buses de hasta 40.000 USD/ud. Beneficia al modelo, pues la adquisición de los vehículos supone gran parte de la inversión del proyecto. Aun así, se tiene un VPN negativo.
- Incremento del precio del combustible fósil del 3 % anual. Supone una mayor diferencia financieramente con respecto al costo de la energía eléctrica, mejorando el modelo. Aun así, se tiene un VPN negativo.
- Arrendamiento de las baterías a un precio de 0,15 USD/km y exención de impuestos del 50 % para el diésel y del 30 % para la energía eléctrica. Se consigue un VAN positivo del proyecto, con un

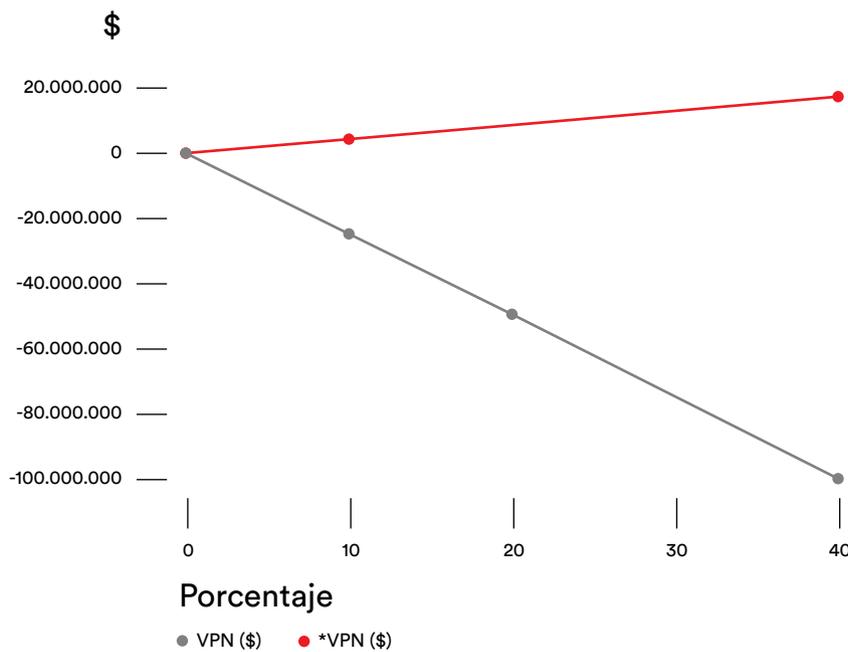
Cuadro 8.4
Valor presente neto (VPN) para cada uno de los objetivos de sustitución en Montevideo

Fuente: Elaboración propia

OBJETIVO DE SUSTITUCIÓN	VPN (\$)	*VPN (\$)
40 %	-99.471.977	17.281.524
20 %	-49.234.947	8.569.351
10 %	-24.662.474	4.284.675
0 %	0	0

Figura 8.2
Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías

Fuente: Elaboración propia



En gris VPN modelo base y en rojo VPN modelo con arrendamiento de las baterías y subsidios a los energéticos.

En resumen, la sustitución de flota con e-buses en Montevideo podría ser viable financieramente comparada con un proceso similar de sustitución de flota realizada con tecnología diésel Euro V. Para ello, habría que optar por un arrendamiento de las baterías de los vehículos tipo, rebajar al 50 % la exención de impuestos para combustibles fósiles e implantar una exención de impuesto de un 30 % para la energía eléctrica respecto del precio actual de mercado.

09 ● ● Proceso de implementación de electromovilidad en Santiago

Descripción del estado de la flota de autobuses

Transantiago es el Sistema de Transporte Público Urbano que opera en el área Metropolitana de Santiago e integrado por Metro Santiago y las siete empresas operadoras que gestionan las unidades de negocio que conforman el sistema de autobuses de la ciudad. Por lo que respecta a este último, conviene destacar que los autobuses prestan sus servicios a aproximadamente 6,2 millones de usuarios, repartidos entre las 32 comunas en que se divide la ciudad y sus alrededores, cubriendo una superficie de 680 km².

Destinado a cambiar por completo la organización del transporte colectivo existente en la urbe, conocido como Micros Amarillos, Transantiago comenzó a operar, en una primera etapa, el 22 de octubre de 2005, completándose la transición definitiva al nuevo sistema el 10 de febrero de 2007.

El nuevo sistema de transporte público supuso una renovación integral de la malla de recorridos de los antiguos micros, dividiendo la ciudad en 10 zonas de servicio y utilizando un sistema basado en el uso de servicios alimentadores y troncales, en conjunto con el Metro.

El Sistema Transantiago (prestación de servicios, operación y construcción de la infraestructura concesionada), según las bases de licitación de 2003, se debía financiar mediante los recursos obtenidos de los usuarios del sistema (pago de tarifas), aportes de las sociedades concesionarias (adquisición de buses y aporte a la reserva técnica, en una primera fase) y del Estado (Ley N° 20.378, por la que se crea un subsidio nacional para el transporte público remunerado de pasajeros). Se contemplaba, además, la reducción de las emisiones de carbono generadas como resultado del cambio operacional y de los buses, conforme a los mecanismos previstos por el protocolo de Kioto.

Figura 9.1
Buses actuales en Santiago
 Fuente: Cruz Pizarro (s.f.)



En 2011, dentro del Programa de Modernización del Transporte Público de Santiago, el Ministerio de Transporte inició el proceso de término anticipado de los contratos de concesión de las Unidades de Negocio Troncales y Alimentadoras a fines de ese año. Por otro lado, y teniendo como objetivo principal garantizar la continuidad de los servicios, el Ministerio acordó nuevos contratos de asignación directa, en donde las nuevas unidades de negocio finalmente resultarían absorberían o sustituirían paulatinamente a las empresas operadoras que hasta la fecha gestionaban los servicios troncales y alimentadores ya mencionados.

Acciones emprendidas en materia de electromovilidad

Desde la formación del sistema de transporte público de Transantiago, han sido varias las medidas que se han tomado en materia ambiental con el objetivo de minimizar las emisiones de la flota de autobuses. Concretamente, a partir del año 2008, se empezaron a adquirir autobuses basados en tecnologías más respetuosas con el entorno y que se enmarcaban en las diferentes normativas EURO. La evolución de la tecnología implementada en los autobuses desde 2008 se muestra en el cuadro 9.2.

Cuadro 9.1
Flota de autobuses de Santiago en 2017
 Fuente: Elaboración propia

N° UNIDADES 2017	DIÉSEL O BIODIÉSEL						GAS		ELÉCTRICO		DIÉSEL-ELÉCTRICO	TOTAL
	HASTA EURO 2	EURO 3	EURO 3F	EURO 4	EURO 5	EURO 6	GNV EURO 6	BATERÍA ELÉCTRICA	TROLEBÚS	HÍBRIDO DE		
Buseta/microbús < 12 m	0	?	?	0	?	0	0	0	0	0	0	0
Autobús básico/ BRT 12-14 m	0	?	?	0	?	0	0	2	0	1	3	3
BRT articulado 18-20 m	0	?	?	0	?	0	0	0	0	0	0	0
BRT biarticulado > 20 m	0	?	?	0	?	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	0	2.592	2.669	0	1.384	1	0	2 Ya retirados	0	1	6.649	6.649

Cuadro 9.2
Evolución del estándar de emisión diésel en los buses de Transantiago
Fuente: Elaboración propia

NORMA	AÑO DE REFERENCIA								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
EURO I	2,6 %	0,1 %	-	-	-	-	-	-	-
EURO II	31,9 %	26,7 %	13,5 %	8,7 %	2,2 %	1 %	-	-	-
EURO III	65,4 %	69,5 %	58,1 %	58,4 %	48,4 %	45,1 %	41 %	40,7 %	39 %
EURO III con filtro	-	3,7 %	28,4 %	32,9 %	43 %	41,8 %	41,5 %	40,9 %	40,1 %
EURO V	-	-	-	-	-	-	17,5 %	18,4 %	20,8 %
EURO VI	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2 %

Durante los últimos años, se han realizado diferentes pruebas con el objetivo de comprobar la viabilidad técnica y financiera de incluir nuevos buses, propulsados con tecnologías limpias, compatibles con el medio ambiente. Concretamente, se han llevado a cabo pruebas técnicas en los siguientes ámbitos:

- Bus híbrido.
- Bus 100 % eléctrico.
- Bus Euro VI - Transantiago.
- Bus Euro VI - Transantiago II.
- Bus Euro VI - Transantiago III.
- Bus biodiésel.

En 2015, se introdujo el primer vehículo híbrido que prestaba servicio en Santiago. A día de hoy, esta unidad sigue operando en el recorrido I09, el cual es explotado por Buses Vule.

En lo referente a autobuses eléctricos, en 2013 se realizó una prueba piloto con recorrido entre Ciudad Empresarial–Escuela Militar–Las Condes. Además, en diciembre de 2017, comenzaron a funcionar las tres primeras unidades con propulsión eléctrica en Santiago. Estos buses pertenecen a las concesionarias Metbus (2 unidades) y Vule (1 unidad), lo que representa una cantidad ínfima respecto del total de buses que componen la flota.

Análisis financiero

Hipótesis

Este proyecto energético consiste en la introducción de autobuses eléctricos en Santiago, en un horizonte temporal de implantación de e-buses en 5 años, y en analizar la operación durante los 15 años de vida útil.

El tiempo de evaluación del proyecto es de 20 años.

Como objetivo final, se contemplan las metas de sustitución de flota de autobuses presentadas en el cuadro 9.3.

Cuadro 9.3
Procesos de sustitución de flota de buses en Santiago simulados

Fuente: Elaboración propia

PROCESO DE SUSTITUCIÓN DE FLOTA EN SANTIAGO			
TIPO	10 %	20 %	40 %
Bus híbrido de 12 m	660	1.325	2.665
Bus diésel existentes	5.890	5.225	3.885
Nº total buses	6.550	6.550	6.550

Se generan varios escenarios para analizar la sensibilidad del modelo y obtener el **punto de equilibrio** (la flota mínima para la cual el proyecto se considera viable), considerando como objetivo final la sustitución del 40 %, el 20 % y el 10 % de la flota por autobuses híbridos y el resto por vehículos diésel.

Los autobuses eléctricos se empezarán a retirar a partir del año 15, a razón de su vida útil. A partir del año 15 de implantación del proyecto, se supone una reducción del costo de adquisición del e-bus de un 40 %. Una reducción del costo incremental del vehículo tipo supone una mejora sustancial del VPN.

La **infraestructura vial** es la misma para ambos tipos de energía, por lo que no se va a considerar en el análisis.

Respecto de la **infraestructura en instalaciones de energía**, el aspecto diferenciador en este proyecto es la implantación de una red privada de puntos de recarga en las empresas, estimando una inversión media de USD 3.000 por punto de recarga privada, para un cargador rápido de 40 minutos. En el modelo VICE 2.0 se supone un ratio de punto de recarga eléctrico de 0,10 puntos de recarga/unidad de e-bus, es decir, se precisa una estación por cada 10 e-buses.

El escenario base considera un punto de partida en el que se suponen los siguientes costos de adquisición incrementales del precio del e-bus frente al diésel Euro V:

- Precio actual de autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico): USD 432.000¹⁶.
- Precio actual de autobús diésel Volvo B7R Euro V: USD 192.000¹⁷.
- Costo de adquisición incremental respecto del diésel de USD 240.000.

$$\text{USD } 432.000 - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 240.000$$

- Costo de adquisición incremental respecto del diésel a los 12 años de USD 67.200, considerando una reducción del precio en el e-bus por competencia de mercado del 40 %.

$$(\text{USD } 432.000 \times 0,60) - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 67.200$$

Se considera una tasa de descuento del 6 %.

Resultados

Los resultados del escenario base para cada meta en Santiago se muestran en el cuadro 9.4.

Cuadro 9.4
Resultados de proyecto de e-buses para cada una de las metas en Santiago

Fuente: Elaboración propia

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	RESULTADOS ESCENARIO BASE				
		ECONÓMICOS		AMBIENTALES		
		VPN (USD)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO ₂ (USD)
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	-37.403.969	-	356.584	605.131	5.052.844
	20 %	-75.091.302	-	715.870	1.214.846	10.143.967
	40 %	-150.465.966	-	1.434.442	2.434.277	20.326.213

¹⁶ Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

¹⁷ Fuente: Múgica Carvajal, 2014.

Las conclusiones de la modelación son:

- **Viabilidad financiera.** No se produce un VAN positivo del modelo para ningún porcentaje de flota eléctrica. Por lo tanto, en el escenario base, el proceso de introducción de autobuses eléctricos no es viable financieramente para los porcentajes de flota de sustitución estudiados respecto de un proceso de introducción de buses diésel Euro V.
- **Punto de equilibrio del modelo.** El VPN económico es negativo para cualquier porcentaje de introducción de flota eléctrica, es decir, no se consigue punto de equilibrio en el modelo a estudiar.
- **Periodo de retorno (payback):** El periodo de retorno es de 19,5 años en todos los modelos considerados.
- **Ahorro de combustible fósil.** El ahorro de combustible fósil para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 %, supone 1.434.442 de tep, que, distribuidas en los 20 años del proyecto, representan una media de casi 71.722 tep/año.
- **Ahorro de gases de efecto invernadero.** El ahorro en términos de emisiones para el objetivo del 40 % de flota eléctrica es cuatro veces superior al que se produce para el objetivo del 10 %. Para el objetivo del 40 %, supone un ahorro de 2.434.277 t de CO₂, que, distribuidas en los 20 años del proyecto, representan una media de 121.714 t de CO₂/año.
- **Costos de inversión.** El principal costo de inversión corresponde a la adquisición de la flota de autobuses eléctricos, siendo el del objetivo del 40 % cuatro veces superior al del objetivo del 10 %. El porcentaje de inversión de la infraestructura de suministro respecto de la inversión total es aproximadamente del 0,1 %, tanto para el objetivo de flota del 40 % como para la del 10
- **Valoración monetaria del ahorro de emisiones de CO₂.** A título informativo, la expresión monetaria del ahorro de emisiones de CO₂ es de USD 20.326.213 para el objetivo de sustitución del 40 %, lo que supone el 2,49 % de la inversión total para cualquier porcentaje de sustitución de flota.

El análisis de sensibilidad refleja una mejora significativa del modelo para las siguientes situaciones:

- Reducción del costo de adquisición de los vehículos tipo a los 15 años debido a la estimación de un mercado más competitivo. Aun así, no se consigue un VPN positivo.
- El incentivo fiscal para la adquisición de los e-buses de hasta 24.000 USD/ud beneficia al modelo, pues la adquisición de los vehículos supone gran parte de la inversión del proyecto. Aun así, no se consigue un VPN positivo.
- Incremento del precio del combustible fósil del 3 % anual. Supone una mayor diferencia con respecto al costo de la energía eléctrica, consiguiendo un VPN positivo del proyecto de USD 145.187.630, con un TIR del 9,43 % y un periodo de retorno de 13,96 años, para un porcentaje de sustitución de flota del 40 %.

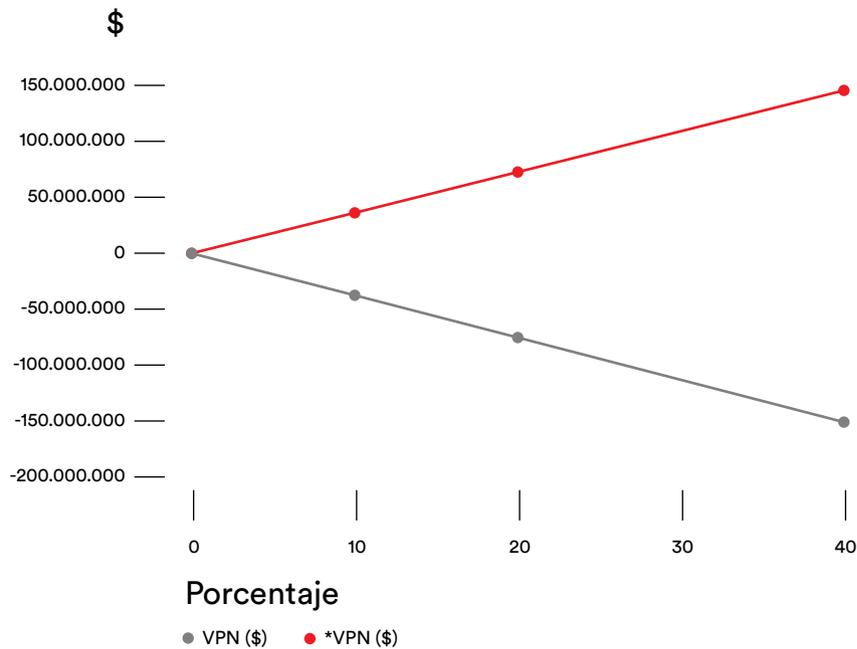
Cuadro 9.5
Valor presente neto (VPN) para cada uno de los objetivos de sustitución en Santiago a precios de carburantes constantes y con incremento anual del 3 %
 Fuente: Elaboración propia

OBJETIVO DE SUSTITUCIÓN	VPN (\$)	*VPN (\$)
40 %	-150.465.966	145.187.630
20 %	-75.091.302	72.457.103
10 %	-37.403.969	36.091.840

Figura 9.2

Comparación del VPN del modelo base a precios de carburante constantes y del modelo con incremento anual del 3 % del precio de la energía fósil

Fuente: Elaboración propia



En gris VPN modelo base a precios de carburantes constantes y en rojo VPN modelo solamente con incremento anual del 3 % del precio en la energía fósil.

Arrendamiento de las baterías. Se consigue un VAN positivo del proyecto de USD 165.152.480, con un TIR del 29,93 % y un periodo de retorno de 6,18 años, para un porcentaje de sustitución de flota del 40 %. Al no tener que invertir en las baterías, la adquisición del vehículo tipo supone un menor costo incremental. En este supuesto se consideran los siguientes costos de adquisición:

- Costo de adquisición incremental del e-bus respecto del diésel de 40.000 USD, suponiendo un ahorro en el costo de adquisición de las baterías de USD 200.000.

$$\text{USD } 432.000 - \text{USD } 200.000 - \text{USD } 192.000 = \text{USD } 40.000$$

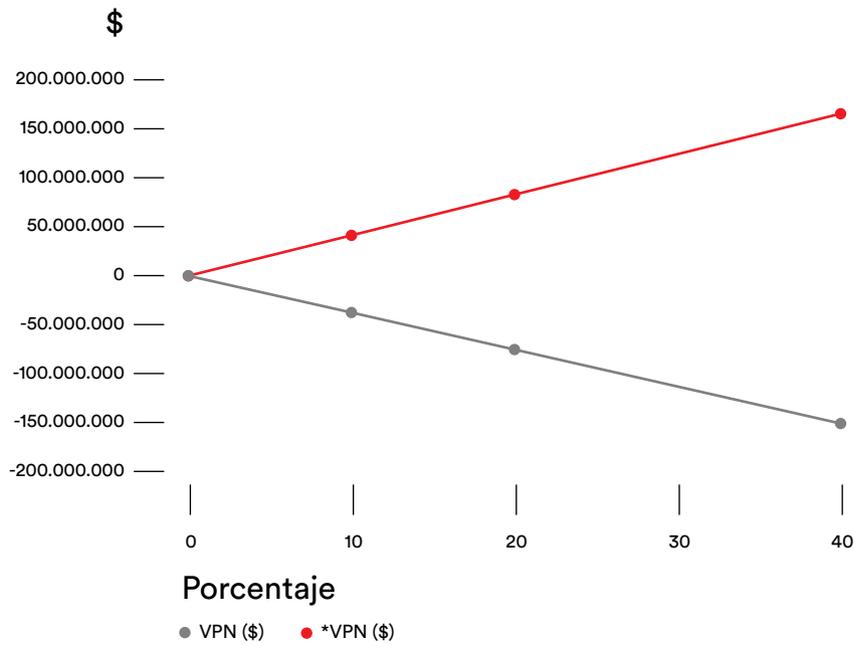
- Sin costo de adquisición incremental respecto del diésel a los 15 años.
- Para un arrendamiento de las baterías a un precio de 0,15 USD/km de pago al arrendador, se estima un incremento en el precio de mantenimiento efectivo de 0,10 USD/km, ya que el operador se ahorra personal propio en mantener las baterías.

Para este supuesto, los resultados son claramente favorables, llegando a producirse un VPN positivo del modelo.

Figura 9.3

Comparación del VPN del modelo base y del modelo con arrendamiento de las baterías

Fuente: Elaboración propia



En gris VPN modelo base y en rojo VPN modelo con arrendamiento de las baterías.

Cuadro 9.6

Valor presente neto (VPN) de cada uno de los objetivos en Santiago

Fuente: Elaboración propia

OBJETIVO DE SUSTITUCIÓN	VPN (\$)	*VPN (\$)
40 %	-150.465.966	165.152.480
20 %	-75.091.302	82.757.681
10 %	-37.403.969	41.222.694

En conclusión, la sustitución de flota con e-buses en Santiago podría ser viable financieramente comparada con un proceso similar de sustitución de flota realizada con tecnología diésel Euro V. Para ello habría que optar por un arrendamiento de las baterías de los vehículos tipo.

10 ● ● Análisis de riesgos y mitigantes

En este apartado se pretende identificar los riesgos que pueden desestabilizar o hacer inviables los procesos de electromovilidad, así como los mitigantes de estos riesgos que pueden reducir las consecuencias sobre el proyecto de sustitución de flota.

Metodología del análisis de riesgos

La evaluación de riesgos se basa en el mapa de riesgos aplicados a los escenarios considerados en este informe y emplea la metodología de la norma europea EN 50126.

En los cuadros 10.1 y 10.2 se definen, en términos cualitativos, las categorías típicas de la probabilidad o frecuencia con la que se da un suceso de peligro y de las consecuencias para la implementación del proyecto.

Cuadro 10.1
Frecuencia de peligros

Fuente: Norma Europea EN 50126 (septiembre, 1999)

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA
6	Frecuente Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimentará continuamente.	>1 en tres meses
5	Probable Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia.	De 1 en tres meses a 1 al año
4	Ocasional Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces o bien ha ocurrido varias veces anteriormente.	De 1 al año a 1 en 4 años
3	Remota Es probable que se dé alguna vez en la vida del sistema. Puede razonablemente esperarse que el peligro ocurra o bien ha ocurrido alguna vez anteriormente.	De 1 en 4 años a 1 en 10 años
2	Improbable Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente. Se conoce algún caso.	De 1 en 10 años a 1 en 35 años
1	Increíble Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro pueda no ocurrir.	Mayor de 35 años

Cuadro 10.2
Consecuencia de la implementación del proyecto

Fuente: Norma Europea EN 50126 (septiembre, 1999)

NIVEL	CONSECUENCIAS
4	Catastrófica El proyecto no se puede implementar.
3	Muy grave (crítica) El proyecto se puede implementar con muchas dificultades.
2	Grave (mínima) El proyecto se puede implementar con alguna dificultad.
1	Menor (insignificante) El proyecto se puede implementar sin problemas.

En función de la frecuencia y consecuencia del peligro, se obtiene la matriz de riesgos, tal y como se muestra en el cuadro 10.3.

Cuadro 10.3
Matriz de riesgos

Fuente: Norma Europea EN 50126 (septiembre, 1999)

FRECUENCIA	NIVELES DE RIESGO			
Frecuente	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable
Ocasional	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable
Remota	Despreciable	Tolerable	No deseable	No deseable
Improbable	Despreciable	Despreciable	Tolerable	Tolerable
Increíble	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
Niveles de gravedad de las consecuencias del peligro				

Donde el nivel de riesgos corresponde a:

- **Intolerable:** debe eliminarse el riesgo.
- **No deseable:** sólo debe aceptarse cuando la reducción del riesgo sea impracticable y con el acuerdo entre operadores y administración.
- **Tolerable:** aceptable con control adecuado y acuerdo de los operadores y la administración.
- **Insignificante:** aceptable sin acuerdo alguno.

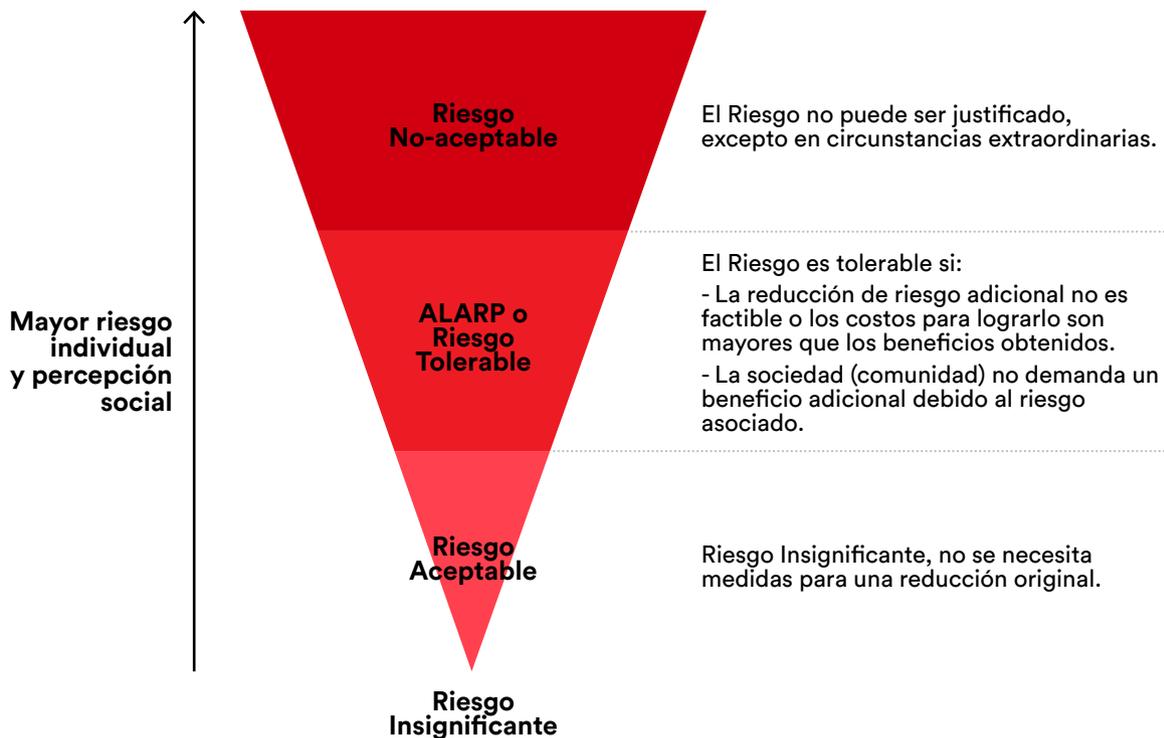
Para reducir la frecuencia de aparición de los riesgos identificados o limitar la gravedad de sus consecuencias, se toman medidas de mitigación. Dichas medidas imponen exigencias en relación a la seguridad que pueden afectar al diseño, a la explotación y al mantenimiento.

Por orden de prioridad:

1. Minimizados en la etapa de diseño.
2. Mitigados donde sea posible.
3. Se podrán gestionar posteriormente (riesgos exportados que debe asumir el operador o la administración).

El principio de aceptación de riesgos será el denominado “Tan reducido como razonablemente posible” (ALARP –*As Low As Reasonably Practicable*–, por sus siglas en inglés), según se describe en la norma europea EN-50126. Este principio puede representarse mediante el diagrama de la figura 10.1.

Figura 10.1
Principio ALARP (tan bajo como sea razonablemente factible) de aceptación de riesgos
Fuente: Automatización Industrial y Más (23012), basado en figura de la norma EN 50126



Análisis de riesgos y mitigantes

Las principales amenazas para el proceso de implementación de la electromovilidad son:

- El elevado costo incremental de la adquisición de autobuses.
- El elevado tiempo de importación del vehículo tipo y de las piezas de recambio.
- La falta de competitividad del mercado de e-buses en 15 años.
- La subida del precio de la energía eléctrica.
- La disminución del precio del combustible fósil.
- La menor autonomía de las baterías.
- La necesidad de infraestructura de recarga.
- La topografía de las ciudades.
- La oposición de los operadores a la implementación del proyecto.
- El fabricante no da opción al arrendamiento de las baterías.
- Las fluctuaciones de demanda importante, sobre todo a la baja.
- La combinación de varias amenazas.

El cuadro 10.4 muestra un listado de las amenazas de carácter general referentes a proyectos de introducción de autobuses eléctricos en un país, junto a las posibles medidas mitigantes que se pueden adoptar para reducir el nivel de cada riesgo.

Cuadro 10.4
Listado de amenazas y medidas de mitigación
Fuente: Elaboración propia

ACONTECIMIENTO O ACCIÓN POTENCIAL	ACTOR	FRECUENCIA	CONSECUENCIA O SEVERIDAD	RIESGO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	FRECUENCIA	CONSECUENCIA O SEVERIDAD	RIESGO
Incremento del precio de la energía eléctrica debido a la subida de impuestos	Administración	4 Ocasional	4 Catastrófico	Intolerable	- Acordar una exención de impuestos en base al precio de la energía. - Dictar normas sobre el impuesto específico interno y el impuesto a las rentas por actividades económicas. - Aplicación de tarifas especiales por parte de las compañías eléctricas a la energía consumida para el transporte.	4 Ocasional	2 Grave	No deseable
Subida del precio de la energía eléctrica debido al cambio del modo de generación eléctrica	Administración	3 Remota	4 Catastrófico	No deseable	Esta amenaza afecta de distinta forma a cada país en función del porcentaje de energías renovables utilizado para la generación de energía eléctrica. - Acordar una exención de impuestos en base al precio de la energía. - Aplicación de tarifas especiales por parte de las compañías eléctricas a la energía consumida para el transporte.	3 Remota	3 Muy grave	No deseable
Disminución del precio de los combustibles fósiles	Administración	3 Remota	4 Catastrófico	No deseable	- Acordar subsidios o exención de impuestos en base al precio de la energía. - Aplicación de tarifas especiales por parte de las compañías eléctricas a la energía consumida para el transporte.	2 Improbable	3 Muy grave	Tolerable
Cambio de política gubernamental	Administración	3 Remota	4 Catastrófico	No deseable	- Aplicación de tarifas especiales por parte de las compañías eléctricas a la energía consumida para el transporte. - Acordar una exención de impuestos para la energía eléctrica.	3 Remota	3 Muy grave	No deseable
Administración sin fondos de inversión	Administración	3 Remota	4 Catastrófico	No deseable	- Aplicación de tarifas especiales por parte de las compañías eléctricas a la energía consumida para el transporte. - Buscar inversores privados que financien el proyecto.	3 Remota	3 Muy grave	No deseable
Oposición de operadores a la implantación de autobuses eléctricos	Operador	3 Remota	4 Catastrófico	No deseable	- Fomento por parte del gobierno de una política de información. - Asesoramiento técnico de expertos y formación a conductores y mecánicos - Aplicación de restricciones de circulación y de emisiones con el fin de potenciar la descontaminación ambiental a nivel nacional. - Inclusión por parte del gobierno de especificaciones de bajas emisiones en las licitaciones de transporte público.	2 Improbable	2 Grave	Despreciable
Largo periodo de importación de los autobuses eléctricos	Operador	4 Ocasional	3 Muy grave	No deseable	- Estudio exhaustivo del mercado actual de autobuses eléctricos. - Previsión del periodo de importación de los vehículos tipo, solicitándolos con tiempo antes de la implantación definitiva. - Implantación del fabricante en América Latina. - Modificación de la Tasa Global Arancelaria de autos con motor de propulsión eléctrica exclusivamente.	2 Improbable	3 Muy grave	Tolerable
Falta de piezas de recambio	Operador	5 Probable	3 Muy grave	Intolerable	- Estudio exhaustivo del mantenimiento del vehículo tipo. - Almacenaje de piezas de recambio previstas de acuerdo con el estudio. - Formación a mecánicos. - Implantación del fabricante en América Latina.	3 Remota	2 Grave	Tolerable
Menor vida útil de las baterías que el esperado	Arrendador de baterías	5 Probable	2 Grave	No deseable	- Respeto a los ciclos de carga y descarga de las baterías. - Mantenimiento adecuado de las baterías. - Segundo uso de las baterías para otra actividad después de su vida útil en el transporte.	3 Remota	2 Grave	Tolerable
Falta de competitividad del mercado en 15 años (mismo precio del vehículo que en la actualidad)	Fabricante	5 Probable	4 Catastrófico	Intolerable	- Invertir en la mejora de la tecnología. - Facilitar la implantación del fabricante en América Latina.	3 Remota	2 Grave	Tolerable

Continúa en la página siguiente →

ACONTECIMIENTO O ACCIÓN POTENCIAL	ACTOR	FRECUENCIA	CONSECUENCIA O SEVERIDAD	RIESGO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	FRECUENCIA	CONSECUENCIA O SEVERIDAD	RIESGO
Mayor coste de las baterías	Operador	4 Ocasional	1 Menor	Tolerable	- Estudio exhaustivo de las baterías a utilizar en el vehículo tipo. - Formación a conductores y mecánicos para conseguir una conducción eficiente. Al optar por el arrendamiento de las baterías, este riesgo no afecta a la implementación del proyecto	3 Remota	1 Menor	Despreciable
El fabricante no da opción al arrendamiento de baterías	Fabricante	4 Ocasional	4 Catastrófico	Intolerable	- Exención de impuestos del costo actual de la energía eléctrica. - Incentivo estatal focalizado en el costo de adquisición del vehículo tipo.	4 Ocasional	2 Grave	No deseable
Mayor coste de mantenimiento de los vehículos	Operador	4 Ocasional	3 Muy grave	No deseable	- Estudio exhaustivo del mantenimiento del vehículo tipo. - Realizar periódicamente mantenimiento preventivo de los autobuses eléctricos. - Formar a conductores y mecánicos para conseguir una conducción eficiente.	2 Improbable	3 Muy grave	Tolerable
Fluctuaciones de la demanda importantes, sobre todo a la baja	Operador	4 Ocasional	3 Muy grave	No deseable	- Estudio de demanda realista. - Afrontar posibles cambios (más rutas, más servicios, más beneficios). - Diseño y aprobación de rutas y estándares de servicio. - Mejora en la calidad del nivel de servicio para recuperar la demanda.	3 Remota	2 Grave	Tolerable
Sin arrendamiento de las baterías e incremento del costo de la energía eléctrica	Administración y operador	4 Ocasional	4 Catastrófico	Intolerable	- Acordar una exención de impuestos en base al precio de la energía. - Adoptar normas sobre el impuesto específico interno y el impuesto a las rentas por actividades económicas. - Aplicación de tarifas especiales por parte de las compañías eléctricas a la energía eléctrica destinada al transporte. - Incentivo estatal focalizado en el costo de adquisición del vehículo tipo.	4 Ocasional	3 Muy grave	No deseable

Las principales medidas de mitigación son:

- Realizar un estudio exhaustivo del mercado actual y futuro. Mercado muy dinámico.
- Almacenar piezas de recambio previstas, involucrando a los proveedores.
- Implantación del fabricante en la región.
- Aplicar tarifas especiales a la energía eléctrica utilizada para el transporte.
- Acordar una exención de impuestos en base al precio de la energía.
- Formar a conductores y mecánicos. Promover una conducción eficiente.
- Implantar restricciones de circulación.
- Implantar restricciones de emisiones.

- Incluir especificaciones de bajas emisiones en nuevas licitaciones.
- Modificar la normativa sobre el impuesto específico interno.
- Modificar la normativa sobre el impuesto sobre las rentas.
- Crear un incentivo estatal focalizado en el costo de adquisición del vehículo tipo.
- Fomentar una política de información.
- Respetar los ciclos de carga y recarga de las baterías.

Se concluye que el riesgo de que no se produzca el arrendamiento de las baterías es un riesgo exportado, es decir, debe ser asumido por el operador o la administración. En el caso de Montevideo, se debe a que la medida mitigante es de difícil implementación, pues se requiere una exención de impuestos de casi la totalidad del costo de la energía eléctrica para que resulte

viable. En cambio, en Santiago, es un riesgo exportado si va acompañado de un aumento del precio de la energía eléctrica de más de un 2 % anual (bien por la subida de impuestos, bien por la introducción de energías renovables).

Otro factor que influye notablemente en la viabilidad del proyecto es la adquisición del material móvil. En la actualidad, los principales fabricantes mundiales de buses eléctricos son BYD y Yutong, ambas empresas chinas, y, en menor medida, la sueca Volvo. Por lo tanto, aparte del elevado costo incremental de adquisición del autobús eléctrico respecto del autobús convencional por la escasa competitividad del mercado y desarrollo de la tecnología, influye el tiempo y costo de importación del material móvil, así como de los recambios necesarios. Para mitigar esta amenaza, las posibles medidas a adoptar son un estudio exhaustivo del mercado actual y futuro, el almacenamiento de las piezas de recambio previstas según el estudio, la formación de conductores y mecánicos para fomentar la conducción eficiente y la implantación del fabricante en la región. BYD, por ejemplo, ya ha iniciado un proceso de implantación en Latinoamérica, realizando inversiones en plantas de fabricación de autobuses eléctricos en Argentina y Brasil.

En cuanto a **factores técnicos**, el proyecto se ve afectado por lo siguiente:

- La autonomía de las baterías. En el caso del arrendamiento de las baterías no influiría de forma considerable; sin embargo, puede suponer un impedimento a la hora de conseguir un acuerdo en el *leasing* de las mismas.
- La necesidad de infraestructura de recarga, bien mediante electrolíneas, bien implementando la opción carga depósito más carga de oportunidad, es decir, realizar cargas en paradas intermedias o al final del trayecto.
- La topografía de las ciudades, ya que es preciso ajustar la tecnología a la infraestructura y realizar un buen diseño técnico que asegure que el autobús eléctrico está capacitado para completar las rutas actuales.

La apuesta por proyectos emergentes y poco desarrollados implica un nivel de exigencia mayor por parte de los actores y de la ciudadanía, pues deben cumplirse las altas expectativas puestas en el mismo para conseguir su óptimo desarrollo.

También podría darse el caso de la **oposición de los operadores en diésel** al proyecto. En este supuesto, podría atenuarse la amenaza con ciertas actuaciones del gobierno o la municipalidad pertinente, como la adopción de restricciones de circulación y de emisiones con el fin de potenciar la descontaminación a nivel nacional, la inclusión en las licitaciones de transporte público de especificaciones de bajas emisiones o la exención de impuestos del costo de la energía eléctrica.

Oportunidades

El caso inverso a los riesgos son las **oportunidades** que favorecen el proceso de electromovilidad. Se han identificado una serie de oportunidades que pueden favorecer la viabilidad del proyecto de sustitución eléctrica, mitigando algunas de las amenazas. Destaca la disminución del precio de la energía eléctrica, el aumento del precio del combustible fósil, una mayor competencia en el mercado de autobuses eléctricos (mejorando la tecnología y disminuyendo el costo de adquisición de los mismos) y la creación de tarifas especiales al transporte.

La incertidumbre respecto a la evolución tanto del mercado de autobuses eléctricos como del mercado de energía eléctrica permite analizar también las **oportunidades** que presenta el proyecto de implementación de autobuses eléctricos en Montevideo. Se definen a continuación algunas de las oportunidades aplicables al proyecto:

- **Disminución del precio de la energía eléctrica.** Supone un claro beneficio en la implantación de autobuses eléctricos. Esta hipótesis depende del porcentaje de energías renovables para la producción de energía eléctrica de cada país. En caso de que la mayor parte se obtenga de energías renovables, pese a implicar un mercado más fluctuante, la infraestructura necesaria para la generación y gestión de la energía ya está desarrollada, por lo tanto, no será necesario invertir en ella y, por consiguiente, no se prevé un aumento del precio de la energía eléctrica. Así, a largo plazo, se podrá estimar una disminución del precio de la energía eléctrica debido a una disminución de impuestos.
- **Aumento del precio de combustibles fósiles.** En algunos casos estudiados, como en Montevideo, es necesario redefinir el alcance de los subsidios

existentes (en la actualidad se recibe un subsidio del 65 % para combustibles fósiles en Montevideo) para que el proyecto sea viable. No obstante, si se produjese un aumento del precio del combustible, el modelo mejoraría notablemente al ser mayor la diferencia entre el precio del combustible fósil y el de la energía eléctrica.

- **Mayor competitividad del mercado de autobuses eléctricos.** Se prevé que el mercado de autobuses eléctricos sea más competitivo en unos años, con posibilidad de implantación de fabricantes en América Latina. De esta forma, el costo incremental de adquisición del vehículo eléctrico respecto a los autobuses actuales será menor. A su vez, implicará un menor tiempo y costo de adquisición de los repuestos y del periodo de importación del vehículo.
- **Tarifas especiales al transporte.** Las compañías eléctricas deberían involucrarse mediante la creación de tarifas específicas aplicadas al transporte para fomentar la electromovilidad. Así, no solo supone una medida de mitigación de los riesgos estudiados previamente, sino que puede considerarse una oportunidad.

11

Actores para la implementación de la electromovilidad

Los actores que pueden favorecer la implementación de la electromovilidad pueden ser entes públicos y entes privados.

Los actores que participan en el proyecto de implementación de autobuses eléctricos en los distintos países desde lo público son principalmente:

- La **Municipalidad**. Regula el transporte público colectivo de pasajeros en sus aspectos operativos (líneas y frecuencias) y económicos (tarifas).
- El **Gobierno**. Los ministerios relacionados con la energía, el transporte y el medio ambiente desarrollan las políticas, los planes, las líneas de acción y los estándares de eficiencia energética.
- Las **empresas distribuidoras de energía eléctrica**. Son las encargadas de crear tarifas específicas aplicadas al transporte para fomentar la electromovilidad o de introducir nuevos puntos de recarga eléctrica o electrolíneas.

- Las **universidades**. Realizan estudios sobre electromovilidad y eficiencia energética, y analizan y publican los resultados.

Los actores que participan en el proyecto de implementación de autobuses eléctricos en los distintos países desde lo privado son principalmente:

- Los **operadores**. Son los encargados de operar el sistema de transporte público y, por tanto, de adquirir y mantener los vehículos eléctricos incluidos en la flota.
- Los **fabricantes de autobuses eléctricos**. Deben adaptarse al mercado, mejorando su tecnología, adecuando sus precios o implantando su producto en la región.
- Los **importadores de autobuses eléctricos**. De ellos depende el tiempo de adquisición del vehículo eléctrico y de los repuestos necesarios a lo largo de su vida útil.

Por tanto, para conseguir la viabilidad económica del proyecto de implantación de autobuses eléctricos en Montevideo y Santiago, deben reunirse una serie de requisitos por parte de todos los actores implicados en el proyecto, tomando las medidas mitigantes necesarias para alcanzar el objetivo de sustitución de flota deseado.

Se ha reconocido e identificado la fragilidad del proyecto de sustitución de flota, de manera que el incumplimiento de algunas hipótesis y mitigantes de amenazas pueden hacer inviable el mismo, sobre todo para los operadores. Es por eso que las administraciones deben realizar políticas sólidas y decididas, facilitando las inversiones en electromovi-

lidad y desincentivando las inversiones en autobuses convencionales.

Los cuadros 11.1, 11.2, 11.3 y 11.4 muestran de forma detallada la matriz de actores, tanto de implantación desde lo público como desde lo privado, de los proyectos que han resultado viables financieramente desde el punto de vista de los operadores (introducción de autobuses eléctricos en Montevideo y Santiago).

Cuadro 11.1
Matriz de actores en Montevideo. Implementación desde lo público.
Fuente: Elaboración propia

ACTORES	ENTIDAD ÁREA DE ACTUACIÓN	INFLUENCIA EN EL PROYECTO
MUNICIPALIDAD	<p>Unidad Ejecutiva del Plan de Movilidad. Depende del Departamento de Acondicionamiento Urbano.</p> <p>La Intendencia Municipal es el organismo ejecutor del Plan de Movilidad Urbana. Regula el transporte público colectivo de pasajeros en sus aspectos operativos (líneas y frecuencias) y económicos (tarifas).</p>	<p>La Intendencia realiza, entre otras, las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Autoriza tarifas y subsidios. ● Aprueba servicios de operación (prestados en carácter de concesión a través del otorgamiento de permisos). ● Diseña y aprueba rutas y estándares de servicio (repercute en la necesidad de estaciones de recarga). ● Controla y supervisa el servicio en general, incluyendo el desempeño económico de los operadores. ● Actualiza la normativa técnica vehicular (como la mejora de los estándares de construcción de calzadas para permitir un mayor peso por eje). ● Busca apoyo financiero.
GOBIERNO NACIONAL	<p>Ministerio de Industria, Energía y Minería, Ministerio de Economía y Finanzas, Ministerio de Transporte y Obras Públicas.</p> <p>Desarrolla políticas, planes, líneas de acción y estándares de eficiencia energética.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Ejecuta y aprueba a nivel nacional planes estratégicos, decretos y leyes, como el Plan Nacional de Eficiencia Energética (para fomentar la política de información, programa de etiquetado vehicular, cursos de técnica de conducción eficiente, inspección vehicular). ● Modifica la Tasa Global Arancelaria correspondiente a "Autos con motor de propulsión eléctrica exclusivamente". ● Dicta normas sobre el impuesto específico interno y el impuesto a las rentas por actividades económicas. ● Ejecuta el reglamento para la explotación de servicios regulares de transporte de personas por carretera, la ley de tránsito y seguridad vial. ● Redefine el alcance de subsidios e incentivos a combustibles fósiles. ● Incluye especificaciones de bajas emisiones en las licitaciones de transporte público.
UNIVERSIDAD	<p>Departamentos de ingeniería y desarrollo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Realizan pruebas y estudios de implementación de autobuses eléctricos en Montevideo, del mercado de autobuses eléctricos y del mantenimiento de las baterías, y analizan los resultados. ● Publican los informes técnicos de divulgación sobre la comparación entre la tecnología eléctrica, híbrida y diésel.
EMPRESA ESTATAL	<p>La Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) es una empresa propiedad del Estado uruguayo que se dedica a las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Crea tarifas específicas aplicadas al transporte para fomentar la electromovilidad (UTE cuenta con diferentes tarifas ajustadas para cubrir la necesidad energética de una flota de buses eléctricos).

Cuadro 11.2

Matriz de actores en Montevideo. Implementación desde lo privado.

Fuente: Elaboración propia

ACTORES	ENTIDAD ÁREA DE ACTUACIÓN	INFLUENCIA EN EL PROYECTO
OPERADORA	CUTCSA. La Compañía Uruguaya de Transportes Colectivos S.A. es el principal operador de autobuses en Montevideo. Actualmente recibe un subsidio departamental y otro nacional.	Entre las potenciales ayudas de los operadores al proyecto se encuentra:
OPERADORA	COETC. La Cooperativa de Obreros y Empleados del Transporte Colectivo es una de las cooperativas uruguayas que integran el sistema de Transporte Metropolitano desde 1963.	<ul style="list-style-type: none">● Realización de un estudio del mercado actual y futuro de autobuses eléctricos.● Previsión del periodo de importación de los vehículos tipo y posibles recambios.
OPERADORA	UCOT. La Unión Cooperativa Obrera del Transporte presta servicio de ómnibus en Montevideo desde 1963.	<ul style="list-style-type: none">● Almacenamiento de piezas de recambio previstas según el estudio.
OPERADORA	COME. La Corporación Ómnibus Micro Este es una empresa de transporte público de Montevideo desde 1963.	<ul style="list-style-type: none">● Formación a operadores y mecánicos para favorecer la conducción eficiente.
OPERADORA	COPSA. La Compañía de Ómnibus de Pando S.A. es una empresa suburbana de Pando que cubre la línea entre esa ciudad y Montevideo.	<ul style="list-style-type: none">● Introducción de la tecnología eléctrica necesaria en las infraestructuras (implica la necesidad de ampliar el espacio para surtidores en sus bases de operación).
FABRICANTE	Yutong. Fabricante de autobuses eléctricos	<ul style="list-style-type: none">● Adaptación a la evolución del mercado de autobuses eléctricos:<ul style="list-style-type: none">- Mejora de la tecnología.- Adecuación del precio (más competitivos).- Implantación del producto en América Latina.
FABRICANTE	BYD. Fabricante de autobuses eléctricos. Se han realizado pruebas en Montevideo con un autobús BYD K9.	
IMPORTADOR	Colgas. Importador de autobuses eléctricos.	<ul style="list-style-type: none">● Influye en el tiempo de importación del vehículo tipo y de posibles recambios.

Cuadro 11.3

Matriz de actores en Santiago. Implementación desde lo público

Fuente: Elaboración propia

ACTORES	ENTIDAD ÁREA DE ACTUACIÓN	INFLUENCIA EN EL PROYECTO
MUNICIPALIDAD	Dirección de Tránsito y Transporte Público. Regula el transporte público colectivo de pasajeros en sus aspectos operativos (líneas y frecuencias) y económicos (tarifas).	<ul style="list-style-type: none"> ● Autoriza las tarifas y subsidios. ● Aprueba los servicios de operación (prestados en carácter de concesión a través del otorgamiento de permisos). ● Diseña y aprueba las rutas y estándares de servicio (puede suponer un aumento de la necesidad de estaciones de recarga). ● Controla y supervisa el servicio en general, incluyendo el desempeño económico de los operadores. ● Actualiza la normativa técnica vehicular (como la mejora de los estándares de construcción de calzadas para permitir un mayor peso por eje). ● Busca apoyo financiero.
GOBIERNO NACIONAL	Ministerio de Energía, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones y Ministerio de Medio Ambiente. Desarrolla políticas, planes, líneas de acción y estándares de eficiencia energética.	<ul style="list-style-type: none"> ● Promueve y aprueba la Estrategia de Electromovilidad mediante el desarrollo de información al mercado de alternativas de tecnologías vehiculares y redes de carga, impactos globales y participación en instancias internacionales. ● Regulariza los vehículos eléctricos mediante el establecimiento de estándares de eficiencia energética o la adopción de normas internacionales. ● Forma y prepara a conductores y mecánicos para afrontar emergencias. ● Difunde las tecnologías vehiculares eficientes. ● Crea incentivos transitorios económicos, para transporte público, menor carga de transporte, compra de vehículos eléctricos, etc. ● Mejora la eficiencia energética y de operación. ● Busca apoyo financiero. ● Incluye especificaciones de bajas emisiones en las licitaciones de transporte público. ● Adopta medidas de expansión de vías exclusivas para buses urbanos. ● Impone restricciones de circulación y de emisiones con el fin de potenciar la descontaminación ambiental. ● Aplica subsidios e incentivos para el reemplazo de vehículos colectivos. ● Homologa y certifica los autobuses eléctricos, acreditando los requisitos técnicos, las condiciones de seguridad y niveles máximos de emisión.
GOBIERNO NACIONAL	Directorio de Transporte Público Metropolitano. Organismo sustituto del "Comité de Transporte Urbano", englobado en el marco del Plan de Transporte Urbano para la ciudad de Santiago.	<ul style="list-style-type: none"> ● Analiza el sistema de transporte público capitalino. ● Vela por la adecuada coordinación de los modos que participan en el transporte público de Santiago. ● Articula, coordina y hace un seguimiento de las acciones, programas y medidas mediante las cuales se gestiona el transporte público de la ciudad, derivadas de las acciones de diversos sectores públicos y privados enmarcados como responsables del plan capitalino.
UNIVERSIDAD	Departamentos de ingeniería y desarrollo.	<ul style="list-style-type: none"> ● Realizan pruebas y estudios de implementación de autobuses eléctricos en Santiago, del mercado de autobuses eléctricos, del mantenimiento de las baterías, etc. y analizan los resultados. ● Publican los informes técnicos de divulgación sobre la comparación entre la tecnología eléctrica, híbrida y diésel.
DISTRIBUIDORA ELECTRICIDAD	Enel. Empresa distribuidora de energía eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> ● Introduce nuevos puntos de recarga eléctrica o electrolineras.
DISTRIBUIDORA ELECTRICIDAD	Chilectra. Empresa distribuidora de energía eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> ● Según el informe "Movilidad eléctrica. Oportunidades para Latinoamérica" (PNUMA, 2016), la compañía Chilectra, a cargo de la distribución eléctrica en Santiago, ha estado promoviendo la movilidad eléctrica desde 2010 y cuenta con una tarifa especial para que los propietarios de vehículos eléctricos carguen durante la noche con un 30 % de descuento. Chilectra además ha desarrollado una primera red de recarga pública con más de diez estaciones operando en la ciudad de Santiago, más de la mitad de ellas de carga rápida.

Cuadro 11.4
Matriz de actores en Santiago. Implementación
desde lo privado

Fuente: Elaboración propia

ACTORES	ORGANISMO ÁREA DE ACTUACIÓN	INFLUENCIA EN EL PROYECTO
OPERADORA	Inversiones Alsacia S.A. Servicios: 100-408-480e-410-410e	<p>Entre las potenciales ayudas de los operadores al proyecto se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Realización de un estudio del mercado actual y futuro de autobuses eléctricos. ● Previsión del periodo de importación de los vehículos tipo y posibles recambios. ● Almacenamiento de piezas de recambio previstas según el estudio. ● Formación a operadores y mecánicos para favorecer la conducción eficiente. ● Introducción de la tecnología eléctrica necesaria en las infraestructuras (implica la necesidad de ampliar el espacio para surtidores en sus bases de operación).
OPERADORA	Subus Chile S.A. Servicios: 200-G	
OPERADORA	Buses Vule S.A. Servicios: 300-E-H-I	
OPERADORA	Express de Santiago Uno S.A. Servicios: 400-D	
OPERADORA	Buses Metropolitana S.A. Operador. Servicios: 500-J-424	
OPERADORA	Redbus Urbano S.A. Operador. Servicios: B-C	
OPERADORA	Servicio de Transportes de Personas Santiago S.A. Operador. Servicios: F-213e-712	
FABRICANTE	BYD. Fabricante de autobuses eléctricos. Se han realizado pruebas en Montevideo con un autobús BYD K9.	<ul style="list-style-type: none"> ● Adaptación a la evolución del mercado de autobuses eléctricos: <ul style="list-style-type: none"> - Mejora de la tecnología. - Adecuación del precio (más competitivos). - Implantación del producto en América Latina.
FABRICANTE	Yutong. Fabricante de autobuses eléctricos.	
IMPORTADOR	Colgas. Importador de autobuses eléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Influencia en el tiempo de adquisición de vehículos tipo y recambios.
FUNDACIÓN	Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Fundación cuyo fin es promover, fortalecer y consolidar el uso de la energía articulando a los actores relevantes, a nivel nacional e internacional, e implementando iniciativas público-privadas en los distintos sectores de consumo energético.	<ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollo de licitaciones, concursos, programas y proyectos específicos que impulsen la disminución del consumo energético.

12 ● ●

Hoja de ruta para la implementación de la electromovilidad

En el presente apartado se proponen las hojas de ruta para conseguir la viabilidad de los proyectos y derribar las barreras normativas para impulsar la electromovilidad en América Latina desde dos puntos de vista, el público y el privado.

Se describen brevemente tres posibles alternativas que se podrían aplicar para conseguir la viabilidad financiera y socioeconómica del proyecto de sustitución de flota.

En primer lugar, se podría optar por hacer pública la adquisición, gestión y operación de los autobuses, tal y como ocurre en la mayoría de las ciudades europeas. Para conseguirlo, es necesario que la administración pública se involucre de forma determinante en el proceso de sustitución de autobuses. En América Latina, la única ciudad donde se ha implantado con éxito la gestión y operación pública de los autobuses es en La Paz. En 2011, se inició el Sistema Integrado de Transporte en la ciudad de La Paz, contando con una mayor participación de la administración municipal en el transporte público. Esto produjo tensiones entre el

sector sindical de transportistas, las juntas vecinales y la alcaldía durante la gestión de la compra de unidades para prestar servicio, que concluyó con la puesta en funcionamiento de 61 autobuses Pumakatari en 2014. Las tensiones se debieron a que el sector de transporte privado consideró que el nuevo sistema de transporte hacía competencia desleal. Este problema no existe en las ciudades europeas porque no existen operadores privados de transporte público en las ciudades.

La segunda opción es que la administración pública adquiera y sea propietaria de la flota de e-buses y estos sean cedidos a los operadores en un concurso de concesión de la operación. De este modo, la operación de los e-buses es privada y el operador privado no precisa de una fuerte inversión inicial para la adquisición de los vehículos. En esta modalidad, el operador privado no corre riesgos financieros debidos a la inversión. El pago al operador puede realizarse en función de una fórmula polinómica que conjugue los pasajeros transportados, los kilómetros recorridos, las horas de operación y la calidad del servicio, por ejemplo.

Por último, una tercera opción contemplada consiste en la participación activa de la administración pública durante el proceso de financiación de los sobrecostes que suponen la sustitución de autobuses convencionales por e-buses. Los subsidios e incentivos a financiadores y operadores quedan justificados por los beneficios socioeconómicos (de un rango de magnitud de miles de millones de USD) generados por el ahorro de emisiones contaminantes, definidos en la actividad 3 de este estudio¹⁸. Además, la impulsión de la electromovilidad supone la oportunidad de ampliar la industria vehicular a las nuevas tecnologías limpias.

A partir de una cascada de pagos, se generan, en primer lugar, incentivos a los financiadores de las unidades de autobuses eléctricos y, posteriormente, a los operadores mediante el cumplimiento de una serie de variables relacionadas con la calidad del servicio. De esta forma, se garantiza un servicio competente, capaz de satisfacer las necesidades de los usuarios, pues incluye la imposición de penalizaciones a los operadores en caso de no cumplir la calidad de los servicios previamente acordada.

Para facilitar este proceso, existe la posibilidad de financiación adicional con fondos verdes (analizado en la actividad 5¹⁹ de este estudio), así como la búsqueda de financiación a través de entidades privadas, bancos multilaterales o asociaciones público-privadas.

Hoja de ruta para la implementación desde lo público

En esta hoja ruta se busca detallar las líneas de acción que permitirían crear las condiciones necesarias para impulsar el proyecto de sustitución de autobuses en una ciudad desde el punto de vista público. La alternativa que se considera más conveniente para las ciudades de América Latina es la tercera opción indicada anteriormente, consistente en que la administración financie el sobrecoste que tiene el operador por sustituir su flota por e-buses respecto del que tendría si la renovación se realizase con autobuses diésel Euro V.

Las medidas concretas que se proponen son:

- 1. Especificaciones técnicas en los procesos de licitación de la concesión de la operación.** Incluir en las licitaciones de concesiones de rutas de transporte público especificaciones concretas de cero o de bajas emisiones en las flotas de sustitución.
- 2. Creación de una caja única que gestione los fondos y subvenciones públicas** que se aporten al proyecto de sustitución de autobuses. El principio de unidad de caja, o caja única, es aquel en virtud del cual los ingresos y gastos de una entidad se centralizan en una tesorería única, que tiene a su cargo la gestión de todos sus recursos financieros.
- 3. Creación de un comité técnico especializado que asesore durante el proceso de sustitución de la flota**, recopilando datos técnicos sobre los e-buses facilitados por el operador durante las pruebas realizadas y la operación y mantenimiento rutinario. Dicho comité técnico puede estar formado en base a convenios con universidades o centros públicos de investigación.
- 4. Negociación con las compañías suministradoras de energía eléctrica** de una tarifa específica destinada al transporte público de pasajeros.
- 5. Redefinir el alcance de los subsidios a combustibles fósiles** para el resto de los operadores que sigan operando en diésel, tratando de reducirlos progresivamente hasta su completa eliminación a medio o largo plazo.
- 6. Creación de impuestos especiales o bien exoneración de impuestos por contaminación ambiental.** Podría proponerse cobrar una sobretasa en todas las ventas de gasolina y diésel, vía impuesto, como ocurre en Bogotá desde 1996. Dicho impuesto puede ser destinado a la inversión pública en tecnologías de cero o bajas emisiones de carbono en el transporte público, tanto de material rodante como de infraestructuras de recarga.
- 7. Concienciación social.** Realizar una campaña de sensibilización social para que los ciudadanos se sientan atraídos por las ventajas de viajar en un transporte público no contaminante y eficiente. Esto puede generar una demanda captada de otros modos

¹⁸ La actividad 3 del Estudio de Alternativas consistió en una propuesta conceptual de esquemas y alternativas de financiamiento y política pública. Evaluación económica de alternativas.

¹⁹ La actividad 5 del Estudio de Alternativas consistió en la preparación de un informe sobre las posibilidades de postular a fondos verdes y la metodología adaptada para la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

de transporte privados que puede ayudar a que los operadores maximicen su beneficio.

8. Capacitación de funcionarios públicos y tomadores de decisiones. De igual forma que es necesaria la formación de profesionales en la industria y operación, se precisa contar con un estamento público capacitado en la materia para liderar procesos y dirigir los análisis técnicos. Por tanto, se impulsarán cursos de capacitación a funcionarios sobre conceptos y herramientas necesarias para el desarrollo de sus tareas.

9. Compartir experiencias con otras ciudades que hayan realizado un proceso similar. Ya existen experiencias internacionales en las que se han implantado con éxito los e-buses. Que las administraciones y operadores involucrados en el proceso sean transparentes y compartan sus experiencias positivas y negativas ayudará a la mejora del proyecto de sustitución de flota.

10. Incentivos a investigadores de la tecnología del e-bus. La administración pública puede contribuir a la mejora de la tecnología incentivando el desarrollo que se realice en universidades, centros de investigación pública y empresas y fabricantes. Esta medida se considera como de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) y puede conectar con programas estatales para el desarrollo tecnológico. No se considera como una medida de aplicación directa al proyecto, sino indirecta. A largo plazo, estos programas de desarrollo tecnológico pueden favorecer que la tecnología llegue a fabricantes nacionales y se abra el mercado, de manera que se abarate la tecnología en la renovación de la primera generación de e-buses al final de su vida útil.

11. Homologación técnica de los distintos modelos de autobuses y creación de un sistema de verificación de las unidades que se fabriquen o importen al país. Con un sistema de cumplimiento de homologación técnica bien desarrollado, los fabricantes podrán comercializar vehículos más eficientes y menos contaminantes incluso que los niveles exigidos por las normas de emisión y de CO₂ de cada país.

Hoja de ruta para la implementación desde lo privado

En la mayor parte de América Latina, la operación de autobuses de transporte público se realiza mediante gestión privada.

La principal barrera para la introducción de los autobuses eléctricos es su elevado costo de adquisición. Se observa una gran diferencia en el costo de adquisición de un autobús eléctrico respecto de un autobús diésel Euro V. El gran costo incremental y el elevado subsidio que presentan los combustibles fósiles en algunos países suponen que el proyecto no sea viable financieramente para los operadores. Así, se busca mejorar el flujo de caja del proyecto con medidas concretas, como puede ser el arrendamiento de las baterías.

Además, los fabricantes e importadores de autobuses eléctricos, así como las compañías distribuidoras de energía, son actores claves a considerar dentro del proceso de implementación de la electromovilidad en un país.

Desde el punto de vista privado, también hay que emprender acciones para derribar las barreras a la electromovilidad. Entre ellas están:

1. Asegurar la calidad de los servicios. Como se ha mencionado anteriormente, es necesario que las entidades públicas intervengan en el proyecto, generando subsidios e incentivos que faciliten la introducción de autobuses eléctricos. No obstante, para que esto ocurra, es preciso que los operadores ofrezcan una calidad del servicio óptima. Los e-buses deben poder asegurar una operación equivalente a los servicios que actualmente están en operación. El principal hándicap para lograr el objetivo es el alcance diario del e-bus. Se deben estudiar con cuidado las rutas para los e-buses y proponer puntos de recarga estratégicamente ubicados en paradas, en caso de ser necesario.

2. Formación a conductores y mecánicos. Los operadores deben contar con conductores, técnicos y mecánicos convenientemente formados para conseguir una conducción y mantenimiento eficientes, lo cual supondrá al operador un ahorro de costos de operación.

3. Conocimiento del mercado. Los operadores deben conocer de forma exhaustiva el mercado actual de los autobuses eléctricos, para poder escoger el modelo de e-bus que mejor se adapte a sus necesidades de operación y demanda.

4. Adaptación a las nuevas tecnologías. El operador privado no solamente debe invertir en adquisición de material rodante. También debe invertir en infraestructuras de recarga eléctrica en patios y talleres y en sistemas de gestión de la operación de la flota, como pueden ser la geolocalización, la comunicación por radio, etc.).

Hoja de ruta para la sustitución de flota

Para la efectiva sustitución de flotas por e-buses, se requiere la participación y coordinación de actores tanto del sector público como del sector privado. Para ello, se deben convocar mesas de trabajo que involucren a todos los actores que puedan ser promotores de tecnologías eficientes de movilidad eléctrica y trabajar de manera coordinada en el desarrollo de información del mercado, regulación y estandarización, formación y difusión de nuevas tecnologías.

A partir de esto, se derivarán todas las coordinaciones pertinentes con el sector privado, de tal forma que todos los actores implicados puedan aportar al proyecto y estar involucrados en las tareas que se estima que cada uno puede desarrollar.

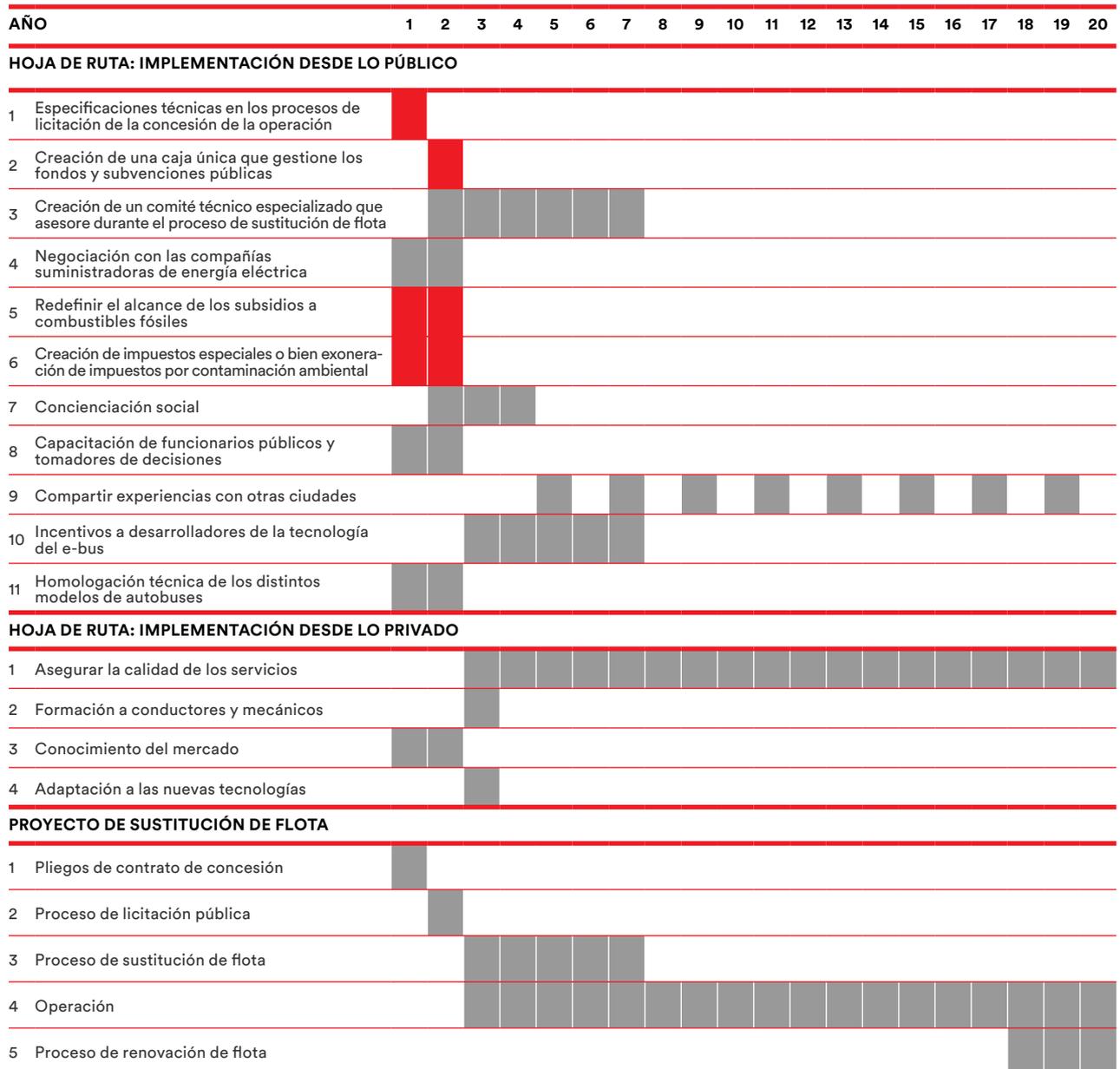
De forma paralela, es conveniente buscar apoyo en la financiación a través de entidades público-privadas, bancos multinacionales, organismos no gubernamentales o fondos verdes.

El cuadro 12.1 muestra la hoja de ruta propuesta para el proyecto de sustitución de flota.

Cuadro 12.1

Hoja de ruta

Fuente: Elaboración propia



Ruta crítica

Del proceso de implementación, se identifican en la hoja de ruta los procesos críticos señalados a continuación (marcados en rojo). Se consideran críticos, porque si no se cumplen los objetivos marcados para cada proceso, no será posible implantar la electromovilidad.

1. Especificaciones administrativas y técnicas en el proceso de licitación de la concesión de la operación. Como se ha demostrado en recientes procesos de licitación frustrados sobre operación de e-buses en Chile y en Argentina, la elaboración de los pliegos administrativos y técnicos requieren una especial atención. En particular, hay que tener especial cuidado en lo siguiente:

- **Organismo de la administración competente.** El organismo de la administración que lance el proceso de licitación debe tener asumidas competencias en transporte. En Argentina, el proceso de adquisición y operación de e-buses fue lanzado por el Ministerio de Medio Ambiente. El proceso de licitación fue anulado debido a que la competencia correspondía al Ministerio de Transportes.
- **Acuerdo con el resto de administraciones.** La administración que lance el proceso de licitación debe acordar con otras administraciones encargadas de las áreas de economía, medio ambiente y energía los términos para definir la subvenciones, exenciones de impuestos y otras medidas concretas que favorezcan la electromovilidad.
- **Flexibilidad para realizar la propuesta técnica.** En ocasiones, las especificaciones técnicas están demasiado orientadas a una tecnología muy particular. Esto limita bastante el número de licitadores e incluso cabe la posibilidad de que solamente se presente un licitador a precios muy elevados. Para permitir que el número de licitadores sea lo más amplio posible, se debe dar libertad para que cada licitador proponga el modelo de operación más oportuno. Es recomendable que los pliegos técnicos definan solamente las condiciones de operación (demanda y calidad del servicio esperada) y el modo de energía (eléctrico puro, híbrido o ambos), pero sin entrar en particularidades sobre el vehículo tipo (aparte de su capacidad y parámetros de confort) y el modo de recarga.

2. Creación de una caja única que gestione los fondos y subvenciones públicas. Es conveniente que las subvenciones no se den de forma directa a los operadores, sino que se cree un órgano administrativo público que gestione dichos fondos y que, en su caso, ejerza de interventor de la operación.

3. Redefinir el subsidio a los combustibles fósiles. Esta medida debe tener el soporte de las políticas de los gobiernos nacionales. El origen de dichos subsidios está en el hecho de que las operaciones de transporte de pasajeros son deficitarias por las tarifas impuestas por la administración. Para que sean rentables, el operador tendría que subir las tarifas. El desfase tarifario es asumido por la administración por medio de subvenciones a los combustibles fósiles. La reducción de las subvenciones a los combustibles fósiles debe ir acompañada de ventajas para el operador que decida un cambio modal y adopte el modo eléctrico. Así pues, este proceso de redefinición de subsidios ha de ir acompañado obligatoriamente del proceso anterior de subvenciones y ayudas.

4. Creación de impuestos especiales o bien exoneración de impuestos por contaminación ambiental. Este proceso se suele aplicar como fomento de la electromovilidad en el vehículo privado. Se puede extender a los autobuses, de forma que suponga una barrera para la adquisición y operación de buses diésel. Para los e-buses, este proceso puede constituir una facilidad.

13

Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero

En el presente apartado se incluye la adaptación de una metodología para estimar la reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que supone la sustitución de parte de la flota de autobuses por autobuses eléctricos. Para ello, se parte de las metodologías existentes para la medición de la huella de carbono, teniendo en cuenta la contribución de cada país a las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Las NDC son un compromiso nacional de cara a la comunidad internacional que busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, acorde con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), y no exceder un incremento de 2 °C de temperatura media en la tierra con respecto a los niveles preindustriales.

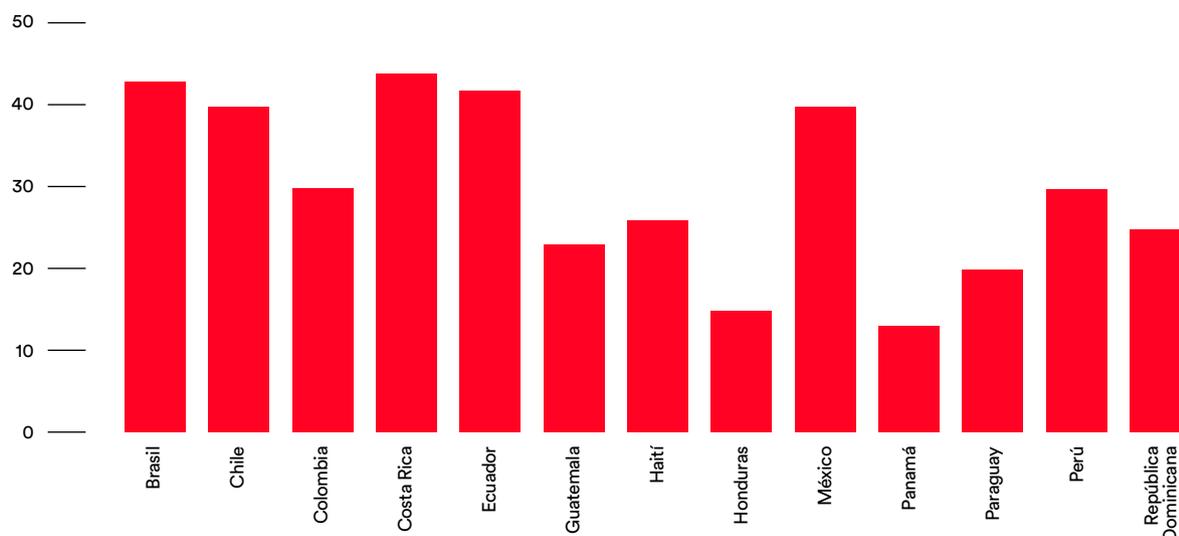
Los ODS son objetivos que se marcan los países a largo plazo y que implican tomar medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad.

El informe “Movilidad eléctrica. Oportunidades para Latinoamérica”, publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), muestra de forma gráfica el porcentaje de reducción de gases de efecto invernadero definido en los compromisos nacionales en algunos países de América Latina (véase la figura 13.1).

Figura 13.1
Compromisos nacionales de reducción de gases
de efecto invernadero en América Latina

Fuente: PNUMA (2016)

Porcentaje



Las emisiones de gases de efecto invernadero están altamente relacionadas con el sector del transporte. Es un factor clave a la hora de analizar proyectos de electromovilidad, pues conlleva un gran beneficio social, reduciendo notablemente los efectos en la salud humana, entre los que destacan las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La huella de carbono mide los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto, desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado y fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de vida útil (depósito, reutilización o reciclado).

Los indicadores ambientales asociados a los sistemas de transporte son los índices de emisiones de gases de efecto invernadero, en particular los relativos a dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas finas (PM_{2,5} y PM₁₀) e hidrocarburos inquemados (CH₄).

Para la determinación de los indicadores ambientales, hay que diferenciar entre emisiones directas del vehículo, denominadas “*tank to wheel*” (del depósito a la rueda) y emisiones del sistema, conocidas como “*well*

to tank” (del pozo al depósito). Las emisiones “*tank to wheel*” (TTW) son las emisiones causadas directamente por el consumo de carburante por el vehículo. Emisiones “*well to tank*” (WTT) incluyen las emisiones previas asociadas a la extracción, refinación y transporte del combustible, causadas por los combustibles fósiles utilizados en esos procesos o en la generación del sistema eléctrico. Para combustibles fósiles, se estima que la emisión WTT es de entre un 20 % y un 30 % mayor que la emisión TTW. El factor de emisión por combustibles fósiles que se publica en cada país se refiere al WTT, es decir, ya considera un añadido por generación de combustibles en origen.

Las emisiones directas TTW generadas por el autobús eléctrico a baterías son cero, pues el motor eléctrico no produce gases.

Las emisiones del sistema eléctrico WTT pueden ser cercanas a cero si la generación proviene de fuentes bajas en carbono, como la hidroelectricidad, la energía solar o la energía eólica. Esto ya depende de la infraestructura de producción energética del país, concretamente del porcentaje de energía eléctrica obtenida de fuentes renovables y limpias.

Emisiones durante el procesado, fabricación y distribución

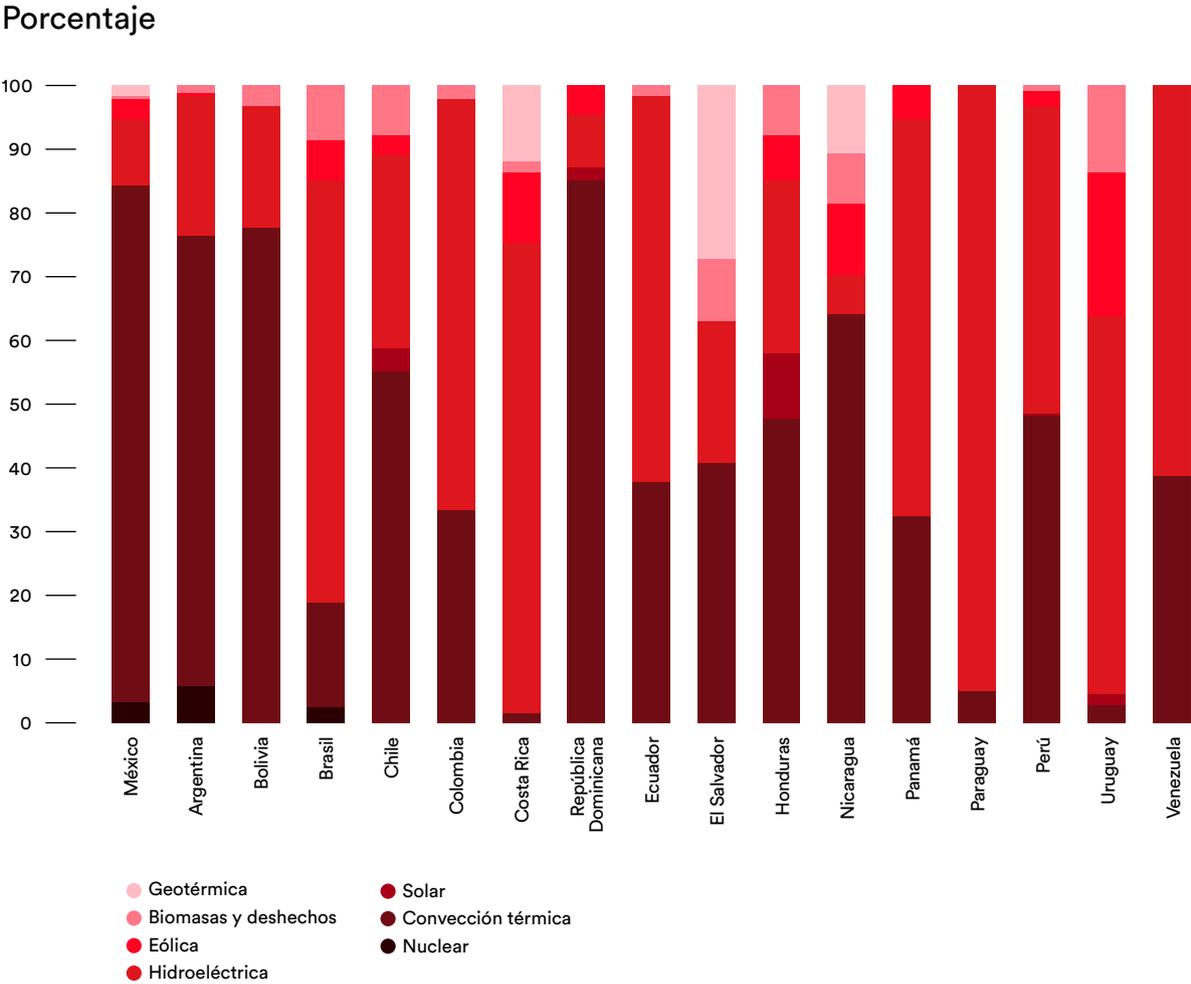
La producción de energía eléctrica en origen puede proceder de generación limpia (energías renovables) o de generación emisora de CO₂ (termoeléctricas). Se puede aplicar para cada país un factor de emisiones de CO₂ en origen diferente para la energía eléctrica.

En el presente estudio, dicho valor será determinado por el factor de emisión SIN, el cual responde a las

emisiones que se deben considerar por el uso de la energía eléctrica debido a la generación en origen. Por ello, en esta etapa del proceso, el porcentaje de energías renovables introducidas en la generación de energía eléctrica del país afecta notablemente a las emisiones. De esta forma, se asigna un factor de emisión de CO₂ a un vehículo eléctrico puro en función de la matriz de generación eléctrica en cada país. En la figura 13.2, se muestra la capacidad eléctrica instalada según el tipo de fuente de energía en América Latina.

Los factores de emisiones SIN de 2016 de cada país obtenidos en la actividad 2^o del presente estudio se recogen en el cuadro 13.1.

Figura 13.2
Capacidad eléctrica instalada según fuente de generación de energía en América Latina
 Fuente: EIA (2016)



20 La actividad 2 del Estudio de Alternativas consistía en un informe con una revisión detallada de los casos con una batería de indicadores.

Cuadro 13.1
Factores de emisión en los distintos países
 Fuente: Elaboración propia

PAÍS	FE DEL SIN ENERGÍA ELÉCTRICA (T CO ₂ / TEP)	FE DE LA GASOLINA AUTOMOTORA (T CO ₂ / TEP)	FE DEL DIÉSEL (T CO ₂ / TEP)
Colombia	2,442	2,596	3,166
Ecuador (2013)	5,902	2,596	3,166
Uruguay	0,326	2,89	3,09
Chile	4,62	2,596	3,166

Otra posible metodología aplicable es la desarrollada por la Junta Ejecutiva de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC): “*Methodological Tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”. Dicha herramienta permite estandarizar el cálculo del factor de emisiones de CO₂ para un sistema eléctrico cualquiera.

En cuanto a la etapa de fabricación y distribución del vehículo tipo, el ahorro diferencial de emisiones de GEI es menor debido a las pocas diferencias relativas de emisiones entre el proceso de fabricación de un vehículo eléctrico y uno de combustible fósil. A su vez, la determinación de las emisiones durante los procesos de fabricación depende en gran medida de las políticas medioambientales del fabricante.

Emisiones durante la etapa de uso

El modelo VICE 2.0, utilizado en la actividad 3 del presente estudio para efectuar un análisis económico del proyecto, realiza la estimación de ahorro de gases de efecto invernadero durante la etapa de uso, que es la etapa que está directamente relacionada con el consumo de combustibles fósiles y de energía eléctrica.

A partir de los resultados obtenidos, se analiza el ahorro de emisiones de CO₂ obtenidas en la sustitución de la flota de autobuses de combustión fósil por autobuses eléctricos.

Así, el ahorro de dióxido de carbono obtenido en los distintos estudios realizados es presentado en el cuadro 13.2.

Según el informe “*EMP air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Last update june 2017*”, de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA, 2017), se define un ratio de emisiones por kilómetro de otros gases de efecto invernadero en función de las principales tecnologías de autobuses existente, siendo las emisiones de autobuses Euro V las reflejadas en el cuadro 13.3.

Las emisiones del autobús eléctrico son nulas para estos tipos de contaminantes. En cuanto a los autobuses híbridos, se supone que operan en un 70 % con diésel y un 30 % eléctrico, considerándose, por tanto, que generan un 70 % de las emisiones producidas por un autobús diésel Euro V.

Cuadro 13.2
Emisión y ahorro (t) de CO₂ en los distintos países
 Fuente: Elaboración propia

LUGAR Y TECNOLOGÍA	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	Nº DE AUTOBUSES A SUSTITUIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	200.675	547.111
	20 %	3.205	401.977	1.095.931
	40 %	6.410	803.955	2.191.862
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	668.917	1.574.375
	20 %	3.205	1.339.925	3.153.670
	40 %	6.410	2.679.850	6.307.340
QUITO (eléctrico)	10 %	300	119.450	191.921
	20 %	600	238.899	383.842
	40 %	1.205	479.789	770.884
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	252.934	756.733
	20 %	300	125.422	375.239
	40 %	605	62.711	187.620
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	1.434.442	605.131
	20 %	1.325	715.870	1.214.846
	40 %	2.655	356.584	2.434.277

Cuadro 13.3
Factores de emisión de contaminante por km en buses Euro V
 Fuente: AEMA (2017)

CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISIÓN (G/KM)
NO _x	3,09
PM	0,0462
CO	0,223
NMCOV	0,022
N ₂ O	0,032
NH ₃	0,029
CH ₄	0,175

De esta forma, en función del número de autobuses de la flota a sustituir, los kilómetros recorridos en cada ciudad durante los 20 años de estudio y el ratio de emisión, se obtiene la cantidad de óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión emitidas en cada caso y, por tanto, el ahorro de los contaminantes emitidos al introducir autobuses eléctricos o híbridos:

$$\text{Ahorro de emisiones (t)} = \text{Emisiones de bus diésel Euro V (t)} - \text{Emisiones de bus eléctrico (t)}$$

$$\text{Emisiones (t)} = \sum \text{Nº bus sustitución} \times \text{emisión} \left(\frac{\text{t}}{\text{km}} \right) \times \text{Recorrido} \left(\frac{\text{km}}{\text{bus} \cdot \text{año}} \right) \times \text{Nº años}$$

Los resultados obtenidos son presentados en el cuadro 13.4.

Cuadro 13.4
Emisión y ahorro (t) de otros GEI en los distintos países
Fuente: Elaboración propia

		BOGOTÁ (HÍBRIDO)			BOGOTÁ (ELÉCTRICO)			QUITO (ELÉCTRICO)			MONTEVIDEO (ELÉCTRICO)			SANTIAGO (ELÉCTRICO)		
Porcentaje de sustitución de la flota		10 %	20 %	40 %	10 %	20 %	40 %	10 %	20 %	40 %	10 %	20 %	40 %	10 %	20 %	40 %
N° de autobuses a sustituir		1.600	3.205	6.410	1.600	3.205	6.410	300	600	1.205	150	300	605	660	1.325	2.655
Recorrido (km)		65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	65.000	84.000	84.000	84.000
Euro V		5.784	11.587	23.174	5.784	11.587	23.174	1.085	2.169	4.356	542	1.085	2.187	3.084	6.191	12.404
NOx	Eléctrico/Híbrido	4.049	8.111	16.222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	1.735	3.476	6.952	5.784	11.587	23.174	1.085	2.169	4.356	542	1.085	2.187	3.084	6.191	12.404
Euro V		86	173	346	86	173	346	16	32	65	8	16	33	46	93	185
PM10	Eléctrico/Híbrido	60	121	242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	26	52	104	86	173	346	16	32	65	8	16	33	46	93	185
Euro V		417	836	1.672	417	836	1.672	78	157	314	39	78	158	223	447	895
CO	Eléctrico/Híbrido	292	585	1.170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	125	251	502	417	836	1.672	78	157	314	39	78	158	223	447	895
Euro V		41	82	165	41	82	165	8	15	31	4	8	16	22	44	88
COV	Eléctrico/Híbrido	29	57	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	12	25	50	41	82	165	8	15	31	4	8	16	22	44	88
Euro V		60	120	240	60	120	240	11	22	45	6	11	23	32	64	128
N2O	Eléctrico/Híbrido	42	84	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	18	36	72	60	120	240	11	22	45	6	11	23	32	64	128
Euro V		54	109	217	54	109	217	10	20	41	5	10	21	29	58	116
NH3	Eléctrico/Híbrido	38	76	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	16	33	65	54	109	217	10	20	41	5	10	21	29	58	116
Euro V		328	656	1.312	328	656	1.312	61	123	247	31	61	124	175	351	703
CH4	Eléctrico/Híbrido	230	459	918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ahorro	98	197	394	328	656	1.312	61	123	247	31	61	124	175	351	703

Emisiones durante el final de la vida útil

En cuanto a las emisiones producidas durante el final de vida útil de un autobús convencional y uno eléctrico, la principal diferencia se encuentra en la eliminación de las baterías, siendo necesario gestionar sus residuos.

Las baterías de ion-litio están en continuo desarrollo debido a la creciente adopción de las mismas en di-

versos sectores industriales, tanto para dispositivos electrónicos de consumo (móviles, ordenadores, etc.) como para el sector de transporte.

Según el estudio “*Electric Buses in Cities. Driving towards Cleaner Air and Lower CO₂*”, realizado por Bloomberg New Energy Finance (2018), actualmente, la eliminación y el manejo de baterías usadas en la Unión Europea (UE) están cubiertos por la directiva de la UE 2006/66/EC. Sin embargo, esta legislación está estructurada en gran parte en torno a minimizar la liberación de mercurio y cadmio. La UE debía

publicar una nueva legislación que trate específicamente de las baterías usadas de vehículos eléctricos a fines de 2018.

Así, la acción por parte del gobierno se contempla a partir de la creación de leyes que obliguen a devolver las baterías, una vez usadas, a determinados negocios que se encarguen de su reciclaje, lo que puede generar grandes ingresos en el negocio del reciclaje de baterías. Según el informe “*Lithium-ion Battery Recycling Market By Type (NMC, LFP, LMO, Li-TO, NCA, Li-CO), By Application (Automotive, Power, Marine, Industrial), Industry Trends, Estimation & Forecast, 2017-2025*”, de la consultora Esticast Research & Consulting (2018), se prevé que para el año 2024 las baterías de este tipo procedentes de la automoción representen el 50 % del mercado global de reciclaje de baterías (en el cual se espera, a su vez, un crecimiento del 30,5 % entre 2017 y 2025).

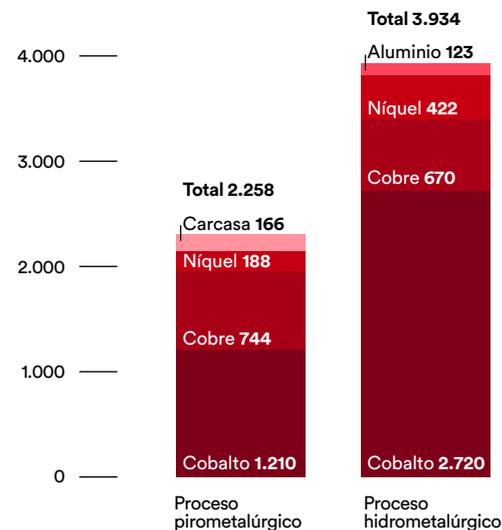
Cada vez más, se están desarrollando procesos de reciclaje hidrometalúrgicos para baterías de ion-litio. Estos métodos de procesamiento son más caros, pero pueden producir materiales refinados que pueden reutilizarse en la fabricación de baterías de iones de litio. Sin embargo, el costo del procesamiento debe considerarse y ponderarse con relación al precio y los volúmenes de los materiales recuperados.

Los métodos actuales de reciclaje utilizados para las baterías de ion-litio tienden a basarse en un proceso pirometalúrgico. Esto implica fundir los componentes de la batería en una escoria que puede ser vendida en algunas ocasiones para su posterior procesamiento, pero no produce material con la pureza suficiente como para ser reutilizado en la fabricación de baterías.

La química utilizada en una batería y los precios actuales de los productos básicos tienen un gran impacto en la economía del reciclaje. El cobalto se cotiza alrededor de tres veces más que hace dos años. Con los precios actuales de los productos básicos se estima que el reciclaje hidrometalúrgico de un paquete de baterías 24kWh NMC (111) podría proporcionar hasta USD 3.934 de ingresos, tal y como se muestra en la figura 13.3.

Figura 13.3
Estimación de ingresos por el reciclaje de paquetes de baterías NMC 24kWh (USD)

Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2018)



Sin embargo, en 2015-2016, solo el 9 % de los autobuses eléctricos vendidos utilizaron baterías basadas en NMC, mientras que el 89 % usó baterías LFP. Estas últimas no contienen los mismos metales de elevado valor que se encuentran en las baterías NMC. Por lo tanto, reciclar estas baterías a través de una ruta hidrometalúrgica podría no resultar práctico.

Otra posible solución es la reutilización de las baterías. Según el estudio realizado por Bloomberg New Energy Finance (2018), a partir de la información proporcionada por las garantías de las baterías de distintos fabricantes de e-buses, la vida media estimada de las baterías es de alrededor de siete años. Como se ha comentado, se prevé un reciclaje o reutilización de las baterías tras su vida útil, siendo la demanda y disponibilidad de las baterías usadas de e-buses la que muestra el cuadro 13.5.

Así, se deduce que una segunda aplicación factible de las baterías de vehículos eléctricos es en almacenamiento estacionario. Las baterías que se estima que provengan de autobuses eléctricos en 2022-2023 podrían proporcionar suficiente capacidad para todos los proyectos de almacenamiento que se espera se produzcan durante esos años, incluso teniendo en cuenta la potencial pérdida de capacidad de las baterías.

Cuadro 13.5

Demanda anual de baterías y disponibilidad de baterías usadas de e-buses

Fuente: Bloomberg New Energy Finance (2018)

AÑO	CANTIDAD DE BATERÍAS DE E-BUSES USADAS DISPONIBLES (GWH)	DEMANDA DE BATERÍAS PARA ALMACENAMIENTO ESTACIONARIO (GWH)	DEMANDA DE BATERÍA PARA E-BUSES (GWH)
2018	0	5	13
2020	0,4	6	13
2025	11	20	9

Se estima que el costo de reutilizar el paquete de baterías de autobuses eléctricos para estas aplicaciones es de unos USD 49/kWh. Esto cubriría gastos, como mano de obra, costos de transporte y otros gastos generales necesarios para adaptar las baterías a las nuevas aplicaciones. Este costo es significativamente menor que el de las baterías nuevas en kWh. No obstante, es posible que haya reticencias al segundo uso de las baterías respecto a su vida útil y seguridad. Si el precio de las nuevas baterías sigue bajando, el costo de las baterías de segunda vida y el asociado a la reutilización de las mismas puede llegar a no ser económico.

A pesar de las preocupaciones sobre las baterías de segunda vida, muchos fabricantes de automóviles están utilizando baterías de autobuses eléctricos usadas en proyectos piloto de almacenamiento. Renault, un fabricante de automóviles francés, anunció recientemente que instalaría baterías de e-buses usadas en la isla portuguesa de Madeira. BYD, un fabricante de automóviles chino, anunció que instalaría baterías de autobuses eléctricos de segunda vida en un proyecto de almacenamiento de energía en la provincia de Hunan, China. También en China, China Tower, propietaria y operadora de aproximadamente dos millones de torres de telecomunicaciones, firmó un acuerdo con 16 compañías involucradas en la cadena de suministro de baterías para la reutilización de las mismas a fin de reemplazar las de plomo-ácido existentes, encargadas de proporcionar energía de respaldo a las torres. Suponiendo que se requiera una batería de 10kWh para cada torre, el reemplazo de todas las baterías de plomo-ácido de China Tower con baterías de e-buses usadas representa un mercado de 20GWh. Estos proyectos ayudarán a una mejor comprensión del potencial que tiene usar baterías de e-bus en aplicaciones de segunda vida en el futuro. Si es económicamente atractivo, esto podría ayudar a aumentar los valores residuales del bus eléctrico.

Además, existe la posibilidad de reutilizar baterías en estaciones de carga de autobuses eléctricos. El objetivo es un uso sostenible de las baterías y la estabilización de la demanda energética, evitando picos de consumo energético durante la carga de los autobuses eléctricos presentes en la flota. Cuando se combina un gran número de baterías, se pueden reutilizar para introducir ajustes en la oferta y la demanda energética, gestionar las fluctuaciones de frecuencia, así como las oscilaciones de voltaje en los sistemas de distribución. Así, el acumulador se carga en los periodos valle y los autobuses pueden usar esta carga en los periodos punta. Por tanto, implica un ahorro de costes y la estabilización del uso de la red eléctrica, generando beneficios a ambas partes implicadas.

Por consiguiente, se prevé la posibilidad del reciclaje o reutilización de las baterías de los autobuses eléctricos, atenuando la diferencia de impacto ambiental entre el final de la vida útil de un autobús convencional y uno eléctrico

Beneficio socioeconómico

En el presente estudio no solo se debe analizar la viabilidad financiera para los operadores, sino también el impacto social presente en la sustitución de autobuses convencionales diésel por eléctricos.

Los contaminantes atmosféricos pueden provocar gran diversidad de impactos sobre la salud. Los gases de escape de los vehículos emiten gran parte de dichos contaminantes. Por tanto, reduciéndolos significativamente, al utilizar vehículos eléctricos, el impacto en la salud será menor. En general, las emisiones contaminantes afectan a órganos, al sistema nervioso y la san-

gre, provocando dolencias tales como enfermedades pulmonares, infartos de miocardio, asma, ansiedad, mareos y fatiga. Además, hay que tener en cuenta los contaminantes físicos como el ruido, el cual puede tener efectos auditivos (pérdida de audición o fatiga auditiva), efectos somáticos no auditivos (aumento de tensión arterial, colesterol, etc.) o efectos psicológicos (alteraciones del estado de ánimo, disminución de la concentración, estados de ansiedad y otros).

Según el informe “Impacto de la movilidad urbana en la salud. Plan de Movilidad Empresarial como estrategia de prevención en Madrid Salud” (Madrid Salud, 2017), se observa que el sector de transporte es una

de las fuentes principales de contaminación atmosférica urbana, siendo los vehículos los responsables del 86,6 % de las emisiones que se realizan a la atmósfera de Madrid, lo que supone casi 210.000 toneladas anuales de contaminantes.

Cabe destacar que los datos recogidos en el cuadro 13.6 engloban todo el transporte urbano de Madrid. Por ello, los efectos producidos por el transporte público no son tan acusados como los mencionados. Así, además de reducir en gran medida las emisiones contaminantes al introducir autobuses eléctricos, es preciso fomentar el uso del transporte público, incentivando el mismo frente al privado.

Cuadro 13.6
Emisión de contaminantes por focos en la ciudad de Madrid
Fuente: Madrid Salud (2017)

TONELADAS MEDIAS ANUALES EMITIDAS							
	SO ₂	NO ₂	PST	COV	CO	PB	TOTAL
Vehículos	1.628 (8,6 %)	21.137 (82,7 %)	1.036 (17,9 %)	15.622 (94,4 %)	141.483 (99,6 %)	159 (100 %)	181.065 (86,6 %)
Calefacciones	9.298	3.619	2.184	44	436	-	15.581
Industria	8.050	772	2.580	885	55	-	12.342
Total	18.976	25.528	5.800	16.551	141.974	159	208.988

Figura 13.4
Emisión de contaminantes atmosféricos
Fuente: Galarza (2017)

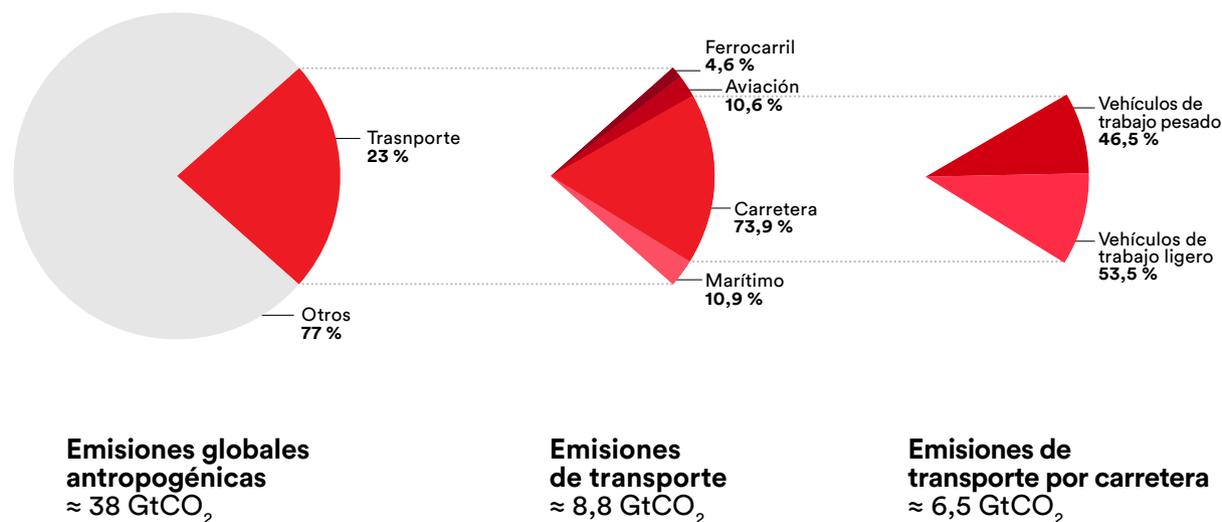
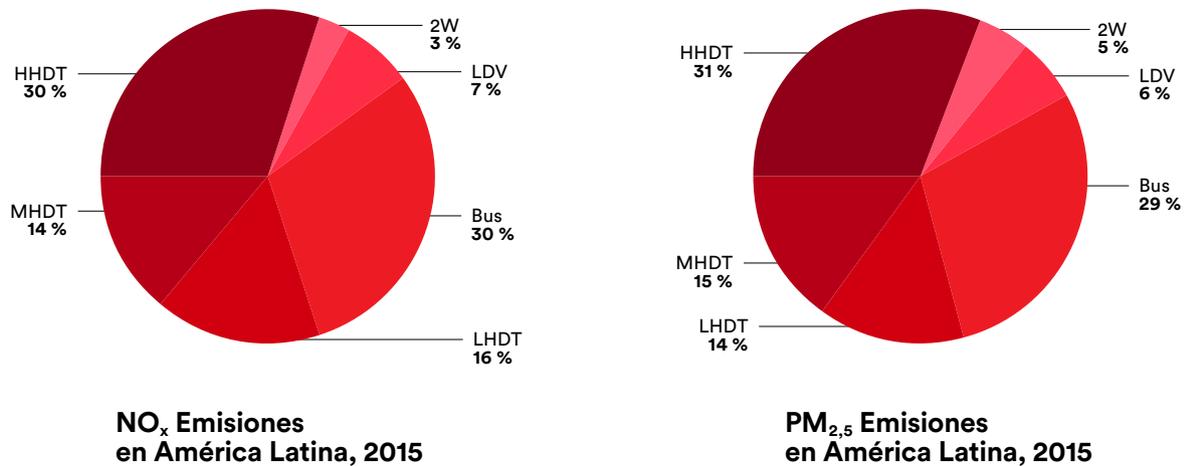


Figura 13.5
Emisión de NO_x y PM_{2,5} en 2015 en América Latina
 Fuente: Galarza (2017)



No obstante, según el informe del PNUMA “Carbono Cero, América Latina” (Vergara, Fenhann y Schletz, 2016), esta es la región con el mayor uso de autobuses per cápita del mundo. Por ello, el transporte público posee un potencial estratégico determinante en la impulsión de la electromovilidad en la región.

Según la presentación “Climate & Clean Air Coalition: Promoting Soot Free Urban Buses in Developing Economies” (Galarza, 2017), del Centro Mario Molina Chile, el 46,5 % de las emisiones producidas por el transporte rodado es de vehículos pesados, tal y como se muestra en la figura 13.4.

Además, se estima que en 2015 los autobuses de América Latina produjeron el 30 % de las emisiones de NO_x y el 29 % de las emisiones de PM_{2,5}, las cuales afectan gravemente a la salud al estar relacionadas con enfermedades crónicas cardiovasculares o respiratorias.

Según un estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre contaminación ambiental y salud, “Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease”, en las Américas, 93.000 defunciones anuales en países de bajos y medios ingresos (LMIC, por sus siglas en inglés) y 44.000 en países de altos ingresos (HI) son atribuibles a la contaminación atmosférica, siendo las muertes por habitante de 18 por 100.000 en los países de LMIC y 7 por 100.000 en los países de HI.

A continuación, se realiza una estimación económica de los distintos costos externos relacionados con el sector de transporte.

Costos derivados de la contaminación atmosférica

Como costo externo del sector de transporte encontramos los costos debidos a la contaminación atmosférica. Esta externalidad contempla el costo total que generan en la sociedad los gases emitidos al aire. Los daños más graves a la salud son los causados por las partículas en suspensión. Así, un estudio de actualización de INFRAS (2004), “Costes externos del transporte”, solo utilizó la emisión de PM₁₀ en sus cálculos de daño a la salud.

Como metodología propuesta se debe obtener en primer lugar una media confiable y medida durante años de la emisión de contaminantes en los países a estudiar, por ejemplo, usando los factores de emisión de los vehículos. A partir de dicha información, se crea un indicador base que proporcione información sobre el número de personas afectadas por los contaminantes mediante una función de emisión-exposición, permitiendo conocer los efectos de las concentraciones de contaminantes. Mediante una exhaustiva investigación en el sector de la salud, se obtendría una tabla con las incidencias en la salud de las personas y los valores del coeficiente de impacto de cada uno de ellos.

Una vez calculadas, se debería valorizar cada caso de enfermedad relacionada con las emisiones contaminantes, multiplicando esas cantidades por los precios sociales promedios cobrados en centros de asistencia

sanitaria por el tratamiento de dicha enfermedad. Así, se calcula un valor promedio de la disposición de pago de las personas por el tratamiento de las enfermedades. En cuanto al costo social, se multiplicaría el

Cuadro 13.7
Costes de contaminación atmosférica de autobuses (2010)

Fuente: RICARDO-AEA (2014)

VEHÍCULO	CATEGORÍA	CLASE EURO	URBANO CÉNTIMOS € / KM	SUBURBANO CÉNTIMOS € / KM	RURAL CÉNTIMOS € / KM	AUTOPISTA CÉNTIMOS € / KM
Buses urbanos	Mini<= 15 t	EURO 0	30,2	15,5	10,4	9,5
		EURO I	15,9	9,8	7,0	6,0
		EURO II	13,2	9,4	7,1	6,1
		EURO III	11,4	7,9	5,4	4,3
		EURO IV	6,7	5,1	3,7	3,0
		EURO V	5,8	4,2	2,4	1,9
		EURO VI	1,8	0,7	0,3	0,3
	Estándar 15 - 18 t	EURO 0	35,6	21,7	15,3	12,9
		EURO I	21,1	13,1	9,2	7,8
		EURO II	17,4	12,5	9,3	7,9
		EURO III	14,7	10,4	7,2	5,8
		EURO IV	8,6	6,7	4,9	3,9
		EURO V	6,9	5,0	2,8	2,2
		EURO VI	1,9	0,8	0,4	0,3
	Articulado > 18 t	EURO 0	46,4	28,5	19,8	16,3
		EURO I	27,3	17,2	12,0	9,8
		EURO II	22,1	16,0	11,8	9,8
		EURO III	18,5	13,3	9,3	7,5
		EURO IV	10,8	8,7	6,6	4,6
		EURO V	7,0	4,9	3,0	2,3
		EURO VI	2,0	0,8	0,5	0,4
Autobuses interurbanos	Estándar <= 18 t	EURO 0	28,8	17,4	11,9	10,4
		EURO I	22,7	13,4	8,9	7,7
		EURO II	18,1	13,1	9,4	8,1
		EURO III	17,0	11,5	7,6	6,4
		EURO IV	9,0	7,0	5,1	4,5
		EURO V	10,0	7,9	4,4	2,7
		EURO VI	2,5	1,3	0,6	0,4
	Articulado > 18 t	EURO 0	34,9	21,5	14,7	12,5
		EURO I	26,9	16,3	10,9	9,2
		EURO II	21,4	15,7	11,2	9,5
		EURO III	19,2	13,2	8,8	7,2
		EURO IV	10,3	8,1	5,9	5,0
		EURO V	10,6	8,4	4,6	2,7
		EURO VI	2,4	1,3	0,6	0,4

precio social de cada atención sanitaria por el número de personas afectadas, según la función emisión-exposición, y por la concentración de contaminantes por metro cúbico en la zona a estudiar.

Para concluir, se suman los resultados de cada enfermedad, obteniendo el costo social de daños a la salud del estudio. Dicho valor permite analizar parte de los beneficios generados en el proyecto.

Debido a la complejidad de la investigación y la falta de estadísticas en el sector de la salud en los países de América Latina, se aplican los indicadores internacionales de origen en Europa extraídos del “*Update of the Handbook on External Costs of Transport*” de 2014 (RICARDO-AEA, 2014) para la estimación de los costos debidos al daño a la salud.

Para los autobuses diésel Euro V encontramos los índices mostrados en el cuadro 13.7.

El estudio no muestra datos para autobuses eléctricos. Por eso, se toma como valor estimado el producido por unidad múltiple de tren, asimilado a pasajero urbano, al ser el modo de transporte más similar presente en el informe (se producen emisiones en la generación de la energía eléctrica), como queda reflejado en el cuadro 13.8.

Los datos proporcionados corresponden al año 2010. Por tanto, es preciso tener en cuenta la inflación del euro en la Unión Europea a la hora de realizar la estimación de costos relacionados con la salud de cada proyecto. Según estadísticas económicas europeas, el índice de precios al consumo armonizado (IPCA) en Europa en los últimos años es el que se muestra en el cuadro 13.9.

Cuadro 13.9
IPCA en Europa en los últimos años

Fuente: Global-Rates (2018)

PERÍODO	INFLACIÓN
Abril 2018	1,245 %
Abril 2017	1,887 %
Abril 2016	-0,239 %
Abril 2015	0,010 %
Abril 2014	0,702 %
Abril 2013	1,770 %
Abril 2012	2,582 %
Abril 2011	2,838 %
Abril 2010	1,610 %

Cuadro 13.8

Costes de la contaminación atmosférica del transporte ferroviario (2010)

Fuente: RICARDO-AEA (2014)

TIPO DE TREN		URBANO			SUBURBANO			INTERURBANO		
		COSTO UNITARIO		FACTOR DE CARGA	COSTO UNITARIO		FACTOR DE CARGA	COSTO UNITARIO		FACTOR DE CARGA
		CÉNT € / PASS.-KM CÉNT € / TON-KM	CÉNT € / TREN-KM	PASAJERO O TONELADA	CÉNT € / PASS.-KM CÉNT € / TON-KM	CÉNT € / TREN-KM	PASAJERO O TONELADA	CÉNT € / PASS.-KM CÉNT € / TON-KM	CÉNT € / TREN-KM	PASAJERO O TONELADA
Pasajeros diésel	Locomotora	2,8	348,7	125	1,4	174,2	125	0,9	149,7	159
	Automotor (unidad múltiple)	2,5	294,3	120	1,1	135,7	120	0,9	106,8	120
Carga diésel	Locomotora							0,6	312,5	500
	Automotor (unidad múltiple)	0,8	162,1	195	0,2	42,2	195	0,09	16,9	195
Pasajeros eléctrico	Automotor (unidad múltiple)	1,4	162,1	120	0,4	42,2	120	0,14	16,9	120
	Alta velocidad							0,18	28,1	154
Carga eléctrico	Locomotora							0,08	42,2	500

Cuadro 13.10**Costos de contaminación atmosférica en €/km**

Fuente: Elaboración propia

	PRECIO (€/KM)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
EURO V	6,9	7,096	7,279	7,408	7,460	7,461	7,443	7,583	7,678	
ELÉCTRICO	1,4	1,440	1,477	1,503	1,514	1,514	1,510	1,539	1,558	

Cuadro 13.11**Costos de contaminación atmosférica en USD/km**

Fuente: Elaboración propia

	PRECIO (USD/KM)									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
EURO V	8,021	8,249	8,462	8,612	8,672	8,673	8,652	8,816	8,925	
ELÉCTRICO	1,628	1,674	1,717	1,747	1,760	1,760	1,756	1,789	1,811	

Cuadro 13.12**Costos derivados de la contaminación atmosférica (USD)**

Fuente: Elaboración propia

	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	Nº DE AUTOBUSES A SUSTITUIR	RECORRIDO (KM/ BUS AÑO)	DIÉSEL EURO V (USD)	HÍBRIDO/ ELÉCTRICO (USD)	AHORRO (USD)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	65.000	16.708.389.982	11.695.872.987	5.012.516.994
	20 %	3.205	65.000	33.468.993.682	23.428.295.577	10.040.698.105
	40 %	6.410	65.000	66.937.987.364	46.856.591.155	20.081.396.209
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	65.000	16.708.389.982	3.390.108.112	13.318.281.869
	20 %	3.205	65.000	33.468.993.682	6.790.810.312	26.678.183.370
	40 %	6.410	65.000	66.937.987.364	13.581.620.625	53.356.366.739
QUITO (eléctrico)	10 %	300	65.000	3.132.823.122	635.645.271	2.497.177.851
	20 %	600	65.000	6.265.646.243	1.271.290.542	4.994.355.701
	40 %	1.205	65.000	12.583.506.205	2.553.175.172	10.030.331.033
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	65.000	1.566.411.561	317.822.636	1.248.588.925
	20 %	300	65.000	3.132.823.122	635.645.271	2.497.177.851
	40 %	605	65.000	6.317.859.962	1.281.884.630	5.035.975.332
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	84.000	8.906.857.121	1.807.188.401	7.099.668.720
	20 %	1.325	84.000	17.881.190.432	3.628.067.624	14.253.122.808
	40 %	2.655	84.000	35.829.857.055	7.269.826.069	28.560.030.986

Se deduce que la tasa de inflación promedio del euro en la Unión Europea entre los años 2010 y 2018 ha sido del 1,349 % anual. En total, la moneda presentó un aumento del 12,405 % en ese periodo. Esto quiere decir que 1 euro de 2010 equivale a 1,125 euros de 2018. Por ello, se toma como índice de crecimiento de los costos en euros un valor de 0,01349.

Por tanto, los costos obtenidos del “*Update of the Handbook on External Costs of Transport*” pasarían a ser en el año 2018 los incluidos en el cuadro 13.10. Con un factor de conversión de 1 USD igual a 0,86 euros, los costes quedarían como en el cuadro 13.11.

A partir de los indicadores previamente contemplados, se aplica la siguiente fórmula para obtener los resultados de cada caso estudiado:

$$\text{Costo contaminación atmosférica (USD)} = \text{precio} \left(\frac{\text{USD}}{n^\circ \text{ vh}} \frac{\text{km}}{\text{vh}} \right) \times \text{Recorrido} \left(\frac{\text{km}}{\text{vh}} \right) \times \text{años}$$

Costos derivados del ruido

El ruido generado por el sector de transporte crea problemas de creciente importancia en la sociedad. La exposición al ruido no solo resulta molesta, sino que también puede causar daños, ocasionando, entre otros, una menor productividad o alteraciones del sueño.

Como indicador del costo por ruido, se toma el especificado para tráfico rodado en el “*Update of the Handbook on External Costs of Transport*”. Se considera como índice el valor promedio del costo producido por el ruido cada 1.000 vkm²¹ de tráfico ligero y denso de autobuses durante el día. Así, aplicando la inflación definida en los costos derivados de la contaminación atmosférica, se obtiene un ratio de 0,098 USD/km. Para vehículos eléctricos se considera nulo, al ser prácticamente inexistente en comparación con el producido por vehículos de combustión fósil. A partir de estos factores, se obtiene el ahorro producido en cada ciudad (véase cuadro 13.13).

Cuadro 13.13
Costes derivados del ruido (USD)

Fuente: Elaboración propia

	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	Nº DE AUTOBUSES A SUSTITUIR	RECORRIDO (KM/ BUS AÑO)	DIÉSEL EURO V (USD)	HÍBRIDO/ ELÉCTRICO (USD)	AHORRO (USD)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	65.000	182.823.687	127.976.581	54.847.106
	20 %	3.205	65.000	366.218.699	256.353.089	109.865.610
	40 %	6.410	65.000	732.437.398	512.706.179	219.731.219
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	65.000	182.823.687	0	182.823.687
	20 %	3.205	65.000	366.218.699	0	366.218.699
	40 %	6.410	65.000	732.437.398	0	732.437.398
QUITO (eléctrico)	10 %	300	65.000	34.279.441	0	34.279.441
	20 %	600	65.000	68.558.883	0	68.558.883
	40 %	1.205	65.000	137.689.090	0	137.689.090
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	65.000	17.139.721	0	17.139.721
	20 %	300	65.000	34.279.441	0	34.279.441
	40 %	605	65.000	69.130.207	0	69.130.207
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	84.000	97.459.089	0	97.459.089
	20 %	1.325	84.000	195.656.504	0	195.656.504
	40 %	2.655	84.000	392.051.334	0	392.051.334

21 vkm: vehículo-kilómetro.

Costos derivados del cambio climático

El cambio climático es inducido principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero. Dentro de los gases que generan efecto invernadero se encuentran principalmente el CO₂, CH₄ y el NO_x, todos producidos por el sector transporte.

Para estimar el costo unitario, en primer lugar, hay que cuantificar los factores de emisión de GEI para diferentes tipos de vehículos (toneladas equivalentes de CO₂ por vkm). A partir de una valoración de los costos del cambio climático por tonelada de CO₂ equivalente, se calculan los costos marginales del cambio climático en función del vehículo y combustible utilizado.

Hay dos enfoques a la hora de evaluar el costo de las emisiones de GEI. Uno es el costo del daño (evaluación de los costos totales, sin esperar realizar acciones que reduzcan el cambio climático) y el segundo es el costo de reducción (contempla el costo de lograr una cantidad determinada de reducción de emisiones).

Para el cálculo de costes, se usarán las estimaciones de costo de reducción correspondientes a los esfuerzos necesarios para estabilizar el calentamiento glo-

bal a 2 °C, lo que equivale a una concentración máxima en la atmósfera de 450 ppm de CO₂ equivalente. Dicho valor es el objetivo fijado por la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC).

Tras varias valoraciones de los factores de emisión, los índices definidos en el “*Update of the Handbook on External Costs of Transport*” son proporcionados por las directrices EEA/EMEP para diferentes tipos de vehículos, combustibles y motores. Además, la base de datos de TREMOVE (modelo económico de emisiones del transporte) es una fuente confiable de datos agregados listos para usar.

Así, los costos marginales del cambio climático para diferentes tipos de tecnología y modos de transporte se producen al multiplicar los factores de emisión extraídos de la base de datos de TREMOVE por el precio del carbono.

A partir de esos datos y aplicando la inflación previamente definida, se obtiene un índice de 9,572 USD/vkm para autobuses Euro V. Por consiguiente, el ahorro estimado producido en cada caso es el reflejado en el cuadro 13.14.

Cuadro 13.14
Costes derivados del cambio climático (USD)

Fuente: Elaboración propia

	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	Nº DE AUTOBUSES A SUSTITUIR	RECORRIDO (KM/BUS AÑO)	DIÉSEL EURO V (USD)	HÍBRIDO/ELECTRICO (USD)	AHORRO (USD)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	65.000	17.919.142.879	12.543.400.015	5.375.742.864
	20 %	3.205	65.000	35.894.283.079	25.125.998.155	10.768.284.924
	40 %	6.410	65.000	71.788.566.158	50.251.996.311	21.536.569.848
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	65.000	17.919.142.879	0	17.919.142.879
	20 %	3.205	65.000	35.894.283.079	0	35.894.283.079
	40 %	6.410	65.000	71.788.566.158	0	71.788.566.158
QUITO (eléctrico)	10 %	300	65.000	3.359.839.290	0	3.359.839.290
	20 %	600	65.000	6.719.678.580	0	6.719.678.580
	40 %	1.205	65.000	13.495.354.481	0	13.495.354.481
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	65.000	1.679.919.645	0	1.679.919.645
	20 %	300	65.000	3.359.839.290	0	3.359.839.290
	40 %	605	65.000	6.775.675.901	0	6.775.675.901
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	84.000	9.552.281.550	0	9.552.281.550
	20 %	1.325	84.000	19.176.928.869	0	19.176.928.869
	40 %	2.655	84.000	38.426.223.508	0	38.426.223.508

Es preciso tener en cuenta el impacto tanto económico de la implantación de autobuses eléctricos en América Latina como el impacto social. La mayor parte de la contaminación atmosférica en un área metropolitana se produce por las emisiones generadas por el transporte, afectando gravemente a la salud.

Los principales contaminantes relacionados con la combustión de combustibles fósiles son la emisión de óxidos de nitrógeno, partículas en suspensión, monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos y, como contaminante físico, el ruido.

Los principales efectos sobre la salud humana radican en enfermedades respiratorias y cardiovasculares, pudiendo causar reacciones inflamatorias, infecciones, cardiopatías, cáncer de pulmón, toxicidad, irritación, alteración del carácter y del estado de ánimo o perturbaciones en el sueño, entre otros.

Así pues, introduciendo autobuses eléctricos y, por tanto, reduciendo considerablemente estas emisiones (en el caso del ruido, es prácticamente inexistente en vehículos eléctricos), se consigue un beneficio social en relación con la salud humana.

No obstante, los contaminantes y efectos estudiados también incluyen los producidos por el transporte privado. Por consiguiente, para que los beneficios obtenidos sean mayores, se debe fomentar el uso del transporte público mediante planes de movilidad que, entre otras medidas, incluyan la reducción en la densidad del tráfico, restricciones en la circulación de vehículos privados o concienciación ciudadana.

Como estimación económica de las externalidades generadas en el sector de transporte se diferencian tres grandes campos: la contaminación atmosférica, el ruido y el cambio climático. Es preciso destacar la complejidad de la investigación y la falta de estadísticas en el sector de la salud en los países de América Latina, por ello se aplica en el presente estudio una estimación a partir de indicadores fiables obtenidos del *“Update of the Handbook on External Costs of Transport”*.

Tras analizar los resultados obtenidos, se confirma el claro beneficio social durante la sustitución de parte de la flota de autobuses convencionales por autobuses eléctricos en Bogotá, Quito, Montevideo y Santiago, pues se consigue un ahorro socioeconómico muy significativo, del orden de magnitud de miles de millones de dólares americanos, tal y como se muestra en los cuadros 12.12, 12.13 y 12.14.

14: Postulación a fondos verdes

En el presente apartado se estudian los criterios generales de elegibilidad, condiciones y metas que se aplican a un proyecto para acceder a recursos de fuentes bilaterales y multilaterales de fondos o financiamiento verde. Además, se describen los distintos organismos financieros mundiales que financian proyectos relacionados con la protección del medioambiente y la mitigación o adaptación al cambio climático, así como el monto máximo de financiamiento al que se puede postular para el proyecto de sustitución de buses convencionales por buses eléctricos en América Latina.

Fondo Verde para el Clima (GCF)

La plataforma de conocimiento Finanzas Carbono, desarrollada por el BID, presentaba la iniciativa de la siguiente manera²²:

El Fondo Verde para el Clima (GCF, por sus siglas en inglés) fue adoptado como mecanismo financiero de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) a finales de 2011. Su objetivo es contribuir de manera ambiciosa a la consecución de los objetivos de mitigación y adaptación al cambio climático de la comunidad internacional. Con el tiempo se espera que este instrumento se convierta en el principal mecanismo de finan-

22. Los párrafos que siguen son cita textual del sitio web desarrollado inicialmente por el BID para informar del mecanismo (finanzascarbono.org). Desde la consulta, la página web ha cambiado. Actualmente, la información relacionada con el mecanismo en América Latina puede ser consultada en <https://www.greenfinancelac.org>

ciamiento multilateral para apoyar las acciones climáticas en los países en desarrollo.

Los países receptores pueden presentar **propuestas de financiamiento a través de las Autoridades Nacionales Designadas**. Los países receptores tendrán acceso directo a través de entidades de implementación acreditadas subnacionales, nacionales y regionales, que propongan y establezcan, si las mismas cumplen determinadas normas fiduciarias. Las modalidades de acceso aún no se han acordado. También se puede acceder a financiación del Fondo Verde para el Clima a través de entidades de implementación multilaterales, tales como los **bancos de desarrollo multilaterales** y los **organismos de las Naciones Unidas**.

Además, se establecerá una participación del sector privado para que el fondo financie directa o indirectamente actividades de ese sector. Las autoridades nacionales designadas, que pueden oponerse a las actividades del sector privado, han de garantizar que los intereses del sector privado están alineados con las políticas nacionales climáticas.

Las partes interesadas son definidas en el Instrumento de Gobierno del fondo como actores del sector privado, organizaciones de la sociedad civil, grupos vulnerables, mujeres y pueblos indígenas.

El Instrumento de Gobierno incluye dos representantes de la sociedad civil y dos del sector privado como observadores activos en todas las reuniones de la Junta, aunque no podrán votar en las tomas de decisión. Las normas para la participación tendrán que ser decididas, como también las modalidades de participación de las partes interesadas. La secretaría interina ha invitado a presentar alternativas de modalidades para la participación de observadores.

En ausencia de un acuerdo a largo plazo de las fuentes de financiación del cambio climático, el mayor reto del fondo será asegurar una financiación suficiente y sostenida. Hay más de 50 temas que la Junta tendrá que abordar a través de su programa de trabajo, y algunas partes interesadas han manifestado la necesidad de encontrar procesos inclusivos y responsables para llegar a un acuerdo sobre las prioridades del fondo.

Algunos han señalado **la necesidad de acordar un modelo de negocio para capitalizar el fondo,**

acordar el acceso y las pautas de asignación, y poner en práctica la función de rendición de cuentas. La importancia del Fondo de centrarse en las instalaciones del sector privado y encontrar maneras efectivas de aprovechar la experiencia y las capacidades del sector privado en su operacionalización. La tarea más importante de la Junta será la de recuperar el impulso perdido desde diciembre de 2011.

Con el tiempo se espera que este instrumento se convierta en el principal mecanismo financiero multilateral para apoyar las acciones climáticas en los países en desarrollo. Hasta ahora, ha financiado 81 proyectos de carácter público, privado o público-privado.

En función de la inversión total necesaria, se distinguen cuatro categorías de proyectos:

- Grande: mayor de USD 250 millones.
- Mediano: mayor de USD 50 millones y menor o igual a USD 250 millones.
- Pequeño: mayor de USD 10 millones y menor o igual a USD 50 millones.
- Micro: menor o igual a USD 10 millones.

El Fondo Verde para el Clima considera seis criterios de inversión específicos para elegir la actividad, así como los factores de evaluación indicativos. La entidad acreditada desarrollará sus propuestas de financiación evaluando estos criterios. Se debe cumplir al menos un subcriterio de cada uno de los seis criterios principales.

De esta forma, el GCF utiliza los siguientes criterios generales para evaluar los programas o proyectos propuestos: potencial impacto (mitigación y adaptación de impactos), potencial de cambio de paradigma (impacto más allá de una inversión puntual en un proyecto o programa), potencial de desarrollo sostenible (beneficios y prioridades más amplios: económicos, sociales y ambientales), necesidades del beneficiario (vulnerabilidad y necesidades de financiamiento del país beneficiario y su población), participación del país (grado de participación del país beneficiario y capacidad de implementar un proyecto o programa financiado) y eficiencia y eficacia (solidez económica y financiera del programa o proyecto).

Dichos criterios se describen en detalle en el cuadro 14.1.

Cuadro 14.1
Criterios de elegibilidad del Fondo Verde
para el Clima
Fuente: GCF (2015)

CRITERIO	DEFINICIÓN	ÁREA CUBIERTA	SUBCRITERIOS ESPECÍFICOS DE LA ACTIVIDAD	FACTORES DE EVALUACIÓN INDICATIVOS (INCLUYENDO INDICADORES)
Impacto potencial	Potencial que tiene el proyecto o programa de contribuir en el cumplimiento de los objetivos del fondo. Puede cubrir la mitigación del impacto.	Mitigación del impacto	Contribución al cambio a la adopción de modalidades de desarrollo sostenible con bajas emisiones de carbono.	<ul style="list-style-type: none"> - Toneladas equivalentes de CO² que se esperan reducir o eliminar. - Grado en el que la actividad evita el bloqueo de una infraestructura de larga duración y alta emisión. - Aumento esperado en el número de hogares con acceso a energía residual. - Grado en el que el programa o proyecto apoya la ampliación de energía de bajas emisiones en la región afectada abordando las barreras claves. - Cantidad prevista de MW de capacidad de energía de bajas emisiones instalada, generada o rehabilitada. - Aumento esperado en el número de proveedores de energía baja, media y grande (PMF-M 6.0 e indicador(es) relacionado(s)) y capacidad efectiva instalada. - Disminución prevista de la intensidad energética de edificios, ciudades, industrias y electrodomésticos (PMF-M 7.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Aumento previsto del uso de transporte con bajas emisiones de carbono (PMF-M 8.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Mejora prevista en el manejo de las tierras o áreas forestales que contribuyen a la reducción de emisiones (PMF-M 9.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Mejora esperada en la gestión de desechos que contribuya a la reducción de emisiones (por ejemplo, el cambio en la proporción de residuos gestionados utilizando estrategias bajas en carbono o el cambio en la proporción de residuos que se recupera mediante el reciclaje y el compostaje). - Otros factores indicativos relevantes, teniendo en cuenta los objetivos, las prioridades y las áreas de resultados del Fondo, según corresponda.
		Adaptación del impacto	Contribución al aumento del desarrollo sostenible resiliente al clima.	<ul style="list-style-type: none"> - Número total previsto de beneficiarios directos e indirectos (vulnerabilidad reducida o mayor resiliencia); número de beneficiarios en relación con la población total (PMF-A Core 1), particularmente los grupos más vulnerables. - Grado en el cual la actividad evita el bloqueo de una infraestructura duradera y vulnerable al clima. - Reducción prevista de la vulnerabilidad mediante la mejora de la capacidad de adaptación y la resiliencia de las poblaciones afectadas por la actividad propuesta, centrándose especialmente en los grupos de población más vulnerables y aplicando un enfoque que tenga en cuenta las cuestiones de género. - Fortalecimiento esperado de los sistemas institucionales y normativos para la planificación y el desarrollo adaptados al clima (PMF-A 5.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Incremento esperado en la generación y uso de información climática en la toma de decisiones (PMF-A 6.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Fortalecimiento esperado de la capacidad de adaptación y exposición reducida a los riesgos climáticos (PMF-A 7.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Fortalecimiento esperado de la concienciación sobre las amenazas climáticas y los procesos de reducción de riesgos (PMF-A 8.0 e indicador(es) relacionado(s)). - Otros factores de evaluación indicativos pertinentes, que tengan en cuenta los objetivos, las prioridades y las áreas de resultados del Fondo, según corresponda.
Potencial de cambio de paradigma	Grado en que la actividad propuesta puede catalizar el impacto más allá de un proyecto único o una inversión de programas.	Potencial de ampliación y replicación, y contribución mundial a modalidades de desarrollo con bajas emisiones de carbono, que sean coherentes con un aumento de la temperatura inferior a 2 grados Celsius (sólo mitigación).	Innovación.	<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidades para orientar soluciones innovadoras, nuevos segmentos de mercado, desarrollar o adoptar nuevas tecnologías, modelos de negocio, cambios modales o procesos.
			Nivel de contribuciones a las vías globales de desarrollo con bajas emisiones de carbono, consistente con un aumento de la temperatura inferior a 2°C.	<ul style="list-style-type: none"> - Las contribuciones esperadas a las vías de desarrollo globales con bajas emisiones de carbono consistentes con un aumento de la temperatura menor a 2°C según lo demostrado por:
			Posibilidad de ampliar la escala y el impacto del programa o proyecto propuesto (escalabilidad).	<ul style="list-style-type: none"> - Una teoría del cambio para ampliar el alcance e impacto del proyecto o programa previsto sin aumentar de igual manera el costo total de la aplicación
		Potencial para exportar elementos estructurales fundamentales del programa o proyecto propuesto en otras partes del mismo sector, así como de otros sectores, regiones o países (replicabilidad).	<ul style="list-style-type: none"> - Una teoría del cambio para la replicación de las actividades propuestas en el proyecto o programa en otros sectores, instituciones, área geográficas o regiones, comunidades o países. 	
		Potencial para el conocimiento y el aprendizaje.	Contribución a la creación o fortalecimiento de conocimientos, procesos de aprendizaje colectivos o instituciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Existencia de un plan de monitoreo y evaluación y un plan para compartir lecciones aprendidas para que puedan ser incorporados en otros proyectos.

Continúa en la página siguiente →

CRITERIO	DEFINICIÓN	ÁREA CUBIERTA	SUBCRITERIOS ESPECÍFICOS DE LA ACTIVIDAD	FACTORES DE EVALUACIÓN INDICATIVOS (INCLUYENDO INDICADORES)
Potencial de cambio de paradigma	Grado en que la actividad propuesta puede catalizar el impacto más allá de un proyecto único o una inversión de programas.	Contribución a la creación de un entorno propicio	Sostenibilidad de los resultados y resultados más allá de la finalización de la intervención.	<ul style="list-style-type: none"> - Disposiciones que propicien la continuidad a largo plazo y financieramente sostenible de los resultados relevantes y las actividades clave pertinentes derivadas del proyecto o programa más allá de la finalización de la intervención. - Medida en que el proyecto o programa crea nuevos mercados y actividades empresariales a nivel local, nacional o internacional.
			Desarrollo y transformación del mercado.	<ul style="list-style-type: none"> - Grado en que la actividad cambiará los incentivos para los participantes del mercado reduciendo los costos y los riesgos, eliminando las barreras al despliegue de soluciones bajas en carbono y resistentes al clima. - Grado en que las actividades propuestas ayudan a superar las barreras sistemáticas al desarrollo de bajo carbono para catalizar el impacto más allá del alcance del proyecto o programa.
		Contribución al marco regulatorio y a las políticas.	Potencial para fortalecer los marcos regulatorios y las políticas para impulsar la inversión en tecnologías y actividades de bajas emisiones, promover el desarrollo de políticas adicionales de baja emisión o mejorarlas.	<ul style="list-style-type: none"> - Grado en el que el proyecto o programa avanza los marcos regulatorios o jurídicos nacionales o locales para promover sistemáticamente la inversión en un desarrollo de baja emisión o resistente al clima.
			Planificación y desarrollo sensibles al clima.	<ul style="list-style-type: none"> - Grado en que la actividad desplaza incentivos a favor del desarrollo con bajas emisiones de carbono o resistentes al clima, o promueve la incorporación de las consideraciones sobre el cambio climático en las políticas y marcos regulatorios y en los procesos de toma de decisiones a nivel nacional, regional y local, incluyendo la toma de decisiones del sector privado.
		Contribución global a la adopción de vías de desarrollo resistentes al cambio climático en consonancia con las estrategias y planes de adaptación al cambio climático de un país (solo adaptación).	<p>Potencial para expandir la propuesta de impacto sin un aumento equivalente de su base de costos (escalabilidad).</p> <p>Posibilidad de exportar elementos estructurales clave de la propuesta a otros sectores, regiones o países (replicabilidad).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliar el alcance y el impacto del proyecto o programa previsto sin aumentar de igual forma el costo total de la implementación. - Una teoría del cambio para la replicación de las actividades propuestas en el proyecto o programa en otros sectores, instituciones, áreas geográficas o regiones, comunidades o países. - Grado en que el programa o proyecto reduce los riesgos propuestos de inversión en tecnologías y estrategias que promueven la resiliencia climática en los países en desarrollo.
Potencial de desarrollo sostenible	Mayores beneficios y prioridades	Cobeneficios medioambientales	Los impactos ambientales positivos esperados, incluso en otras áreas de resultado del fondo, o en consonancia con las prioridades establecidas a nivel nacional, local o sectorial, según proceda.	<ul style="list-style-type: none"> - Grado en que el proyecto o programa promueve externalidades ambientales positivas tales como calidad del aire, calidad del suelo, conservación, biodiversidad, etc.
		Cobeneficios sociales	Los impactos sociales y sobre la salud positivos esperados, incluso en otras áreas de resultado del fondo, o en consonancia con las prioridades establecidas a nivel nacional, local o sectorial, según proceda.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial para las externalidades en forma de mejoras esperadas, para las mujeres y los hombres, en áreas como la salud y la seguridad, el acceso a la educación, la mejora de la legislación o la preservación cultural.
		Cobeneficios económicos	Los impactos económicos positivos esperados, incluso en otras áreas de resultado del fondo, o en consonancia con las prioridades establecidas a nivel nacional, local o sectorial, según proceda.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial para las externalidades en la forma de mejoras esperadas en áreas tales como mercados de trabajo ampliados y mejorados, creación de empleo y mitigación de la pobreza para mujeres y hombres, aumento o expansión de la participación de las industrias locales; mayor colaboración entre la industria y la Academia; crecimiento de los fondos privados que atraen; contribución a un aumento de la productividad y de la capacidad competitiva; mejora de la capacidad de generación de ingresos del sector; contribución a un aumento de la seguridad energética; cambio en el abastecimiento de agua y la productividad agrícola en áreas específicas, etc.
		Impacto de desarrollo sensible al género	Potencial para reducir las desigualdades de género en los impactos del cambio climático o la participación igualitaria de los grupos de género en la contribución a los resultados esperados.	<ul style="list-style-type: none"> - Explicación de cómo las actividades del proyecto abordarán las necesidades de las mujeres y los hombres para corregir las desigualdades en la vulnerabilidad y los riesgos del cambio climático.
Necesidades del destinatario	Necesidades de vulnerabilidad y financiación del país beneficiario y de la población	Vulnerabilidad del país (solo adaptación)	Escala e intensidad de la exposición de personas, activos sociales o económicos, o capital, a los riesgos derivados del cambio climático.	<ul style="list-style-type: none"> - La intensidad de la exposición a los riesgos climáticos y el grado de vulnerabilidad, incluida la exposición a eventos de inicio lento. - Tamaño de la población, activos sociales o económicos, o capital del país expuestos a los riesgos e impactos del cambio climático.
		Grupos vulnerables y aspectos de género (solo adaptación)	Vulnerabilidad comparable alta de los grupos beneficiarios.	<ul style="list-style-type: none"> - El proyecto o programa propuesto apoya a grupos identificados como particularmente vulnerables en las estrategias nacionales de clima o desarrollo, con desagregación sexual relevante.
		Nivel de desarrollo económico y social del país y de la población afectada	Nivel de desarrollo social y económico del país y población destinataria.	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de desarrollo social y económico (incluido el nivel de ingresos) del país y de la población destinataria (por ejemplo, minorías, discapacitados, ancianos, niños, mujeres jefas de hogar, pueblos indígenas, etc.).
		Ausencia de fuentes alternativas de financiación	Oportunidades para que el fondo supere las barreras específicas a la financiación.	<ul style="list-style-type: none"> - Explicación de las barreras existentes que crean ausencia de fuentes de financiación alternativas y cómo se abordarán.
		Necesidad de fortalecer las instituciones y capacidad de implementación	Oportunidades para fortalecer la capacidad institucional y de implementación en las instituciones pertinentes en el contexto de la propuesta.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial del programa o proyecto propuesto para fortalecer la capacidad institucional y de aplicación.

Continúa en la página siguiente →

CRITERIO	DEFINICIÓN	ÁREA CUBIERTA	SUBCRITERIOS ESPECÍFICOS DE LA ACTIVIDAD	FACTORES DE EVALUACIÓN INDICATIVOS (INCLUYENDO INDICADORES)
Participación del país	Propiedad del país beneficiario y capacidad para implementar un proyecto o programa financiado (políticas, estrategias climáticas e instituciones).	Existencia de una estrategia climática nacional	Los objetivos están en consonancia con las prioridades de la estrategia nacional del clima.	- El programa o proyecto contribuye a las prioridades del país para el desarrollo de bajas emisiones y del clima, tal como se identifica en los planes o estrategias nacionales de clima, como las acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (NAMA), los planes nacionales de adaptación (PNA) o el equivalente, y demuestra la concordancia con las evaluaciones de las necesidades tecnológicas (TNA), según proceda.
		Coherencia con las políticas existentes	La actividad propuesta está diseñada con el conocimiento de otras políticas del país.	- Grado en que la actividad es apoyada por el marco institucional y político habilitante de un país, o incluye cambios de política o institucionales.
		Capacidad de ejecución de las entidades acreditadas o entidades implementadoras	Experiencia y trayectoria de la entidad acreditada o entidades ejecutoras en elementos clave de la actividad propuesta.	- El proponente demuestra un historial consistente y experiencia y maestría relevantes en circunstancias similares o pertinentes, según lo descrito en el proyecto o programa propuesto (por ejemplo, el sector, el tipo de intervención, la tecnología, etc.).
		Compromiso con las organizaciones de la sociedad civil y otras partes interesadas relevantes	Consultas y participación de los interesados.	- La propuesta se ha desarrollado en consulta con los grupos de la sociedad civil y otras partes interesadas pertinentes, prestando especial atención a la igualdad de género, y proporciona un mecanismo específico para su futura participación de acuerdo con las salvaguardias sociales y medioambientales del fondo y las directrices para la consulta de los interesados. La propuesta sitúa la responsabilidad de la toma de decisiones con las instituciones de los países y utiliza los sistemas nacionales para garantizar la rendición de cuentas
Eficiencia y Eficacia	Solidez económica y, si procede, financiera del programa o proyecto	Rentabilidad y eficiencia respecto a los aspectos financieros y no financieros	Adecuación financiera y conveniencia de concesionalidad.	- La estructura financiera propuesta (monto de financiamiento, instrumento financiero, tenor y término) es adecuada y razonable a fin de alcanzar los objetivos de la propuesta, incluyendo el tratamiento de los cuellos de botella o barreras existentes.
			Rentabilidad (sólo mitigación).	- Demostración de que la estructura financiera propuesta proporciona la menor concesionalidad necesaria para hacer viable la propuesta.
		Cantidad de cofinanciación	Potencial para catalizar o apalancar la inversión (sólo mitigación).	- Demostración de que el apoyo del fondo al programa o proyecto no se desplaza hacia lo privado y otras inversiones públicas.
			- Costo estimado por t CO ₂ eq (PMF-M Core 2), definido como costo total de inversión/reducciones de emisiones de por vida esperadas, y en relación con oportunidades comparables.	- El volumen previsto de las finanzas será apalancado por el proyecto o programa propuesto y como resultado del financiamiento del fondo, desglosado por fuentes públicas y privadas (PMF-M Core 3).
		Viabilidad financiera del programa o proyecto y otros indicadores financieros	Tasa de rentabilidad interna económica y financiera prevista.	- Proporción de cofinanciación (cuantía total de la cofinanciación dividida por la inversión del fondo en el proyecto o programa).
			Viabilidad financiera a largo plazo.	- Potencial para catalizar la inversión del sector privado y público, evaluada en el contexto del desempeño en las mejores prácticas de la industria.
Mejores prácticas de la industria	Aplicación de las mejores prácticas y grado de innovación	- Inversión esperada de bajas emisiones, indirectas o a largo plazo, movilizadas como resultado de la aplicación de la actividad.		
		Tasa de rentabilidad económica y financiera con y sin el apoyo del fondo (es decir, tasa de retorno de obstáculos u otros umbrales apropiados o pertinentes).	- Tasa de rentabilidad económica y financiera con y sin el apoyo del fondo (es decir, tasa de retorno de obstáculos u otros umbrales apropiados o pertinentes).	
		Descripción de la solidez financiera a largo plazo (más allá de la intervención del Fondo).	- Descripción de la solidez financiera a largo plazo (más allá de la intervención del Fondo).	
			- Se consideran y aplican las explicaciones de cómo se consideran y aplican las mejores tecnologías disponibles o las mejores prácticas, incluidas las de los pueblos indígenas y las comunidades locales.	
			- Si procede, la propuesta especifica las innovaciones o modificaciones o ajustes realizados en base a las mejores prácticas de la industria.	

El Fondo Verde para el Clima cuenta con un proceso de aprobación simplificado para proyectos o programas de menor escala (menos de USD 10 millones), siempre que presenten un potencial o transformación para la adaptación o mitigación del cambio climático: el denominado *Simplified Approval Process* (SAP).

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF)

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), más conocido por sus siglas en inglés, GEF, fue creado en 1991 como un programa piloto del Banco Mundial para financiar los costos “incrementales” de transformar proyectos en iniciativas con beneficios ambientales. En 1994, fue reestructurado, confiándosele la función de mecanismo financiero para la CMNUCC. Hoy es el mayor mecanismo financiero para iniciativas climáticas a nivel mundial, con más de USD 14.000 millones asignados a través de casi 4.000 proyectos en más de 165 países en desarrollo.

El GEF opera en ciclos de cuatro años. Para cada período, los donantes se comprometen a asignar una cantidad determinada de recursos. Cada país receptor puede presentar proyectos y recibir una cuantía de dinero determinada, calculada en base a criterios preestablecidos.

El Fondo reúne a 183 países, instituciones internacionales, organizaciones de la sociedad civil (OSC) y el sector privado, cuyo objetivo es abordar cuestiones ambientales de alcance mundial y respaldar, al mismo tiempo, iniciativas nacionales de desarrollo sostenible. Su financiamiento está dirigido a proyectos en las esferas de biodiversidad, cambio climático, aguas internacionales, degradación de la tierra, capa de ozono y contaminantes orgánicos persistentes.

Desde 1991, el GEF ha logrado una sólida trayectoria: ha otorgado USD 12.500 millones en donaciones y movilizó USD 58.000 millones en cofinanciamiento para más de 3.690 proyectos en más de 165 países. A través de su Programa de Pequeñas Donaciones, también ha concedido directamente más de 16.000 pequeñas donaciones a organizaciones de la sociedad civil y comunitarias, por un total de USD 653 millones.

El GEF proporciona fondos a través de cuatro modalidades en función del tamaño del proyecto:

- Proyecto mayor (FSP, por sus siglas en inglés): financiamiento del proyecto de más de USD 2 millones.
- Proyecto mediano (MSD, por sus siglas en inglés): financiamiento del proyecto menor o igual a USD 2 millones.
- Actividad de apoyo (EA, por sus siglas en inglés): proyecto para la preparación de un plan, estrategia o informe para cumplir los compromisos contraídos en virtud de una Convención.
- Programa: acuerdo estratégico a más largo plazo de proyectos individuales pero interrelacionados, que apuntan a lograr impactos a gran escala en el medio ambiente global.

Cada modalidad requiere la finalización de una planilla diferente.

Los proyectos o programas deben cumplir los siguientes requisitos para ser seleccionados como beneficiarios de los fondos GEF:

- Ser de un país elegible
- Cumplir con las prioridades de desarrollo sostenible nacionales.
- Abordar una o más áreas focales del GEF (biodiversidad, aguas internacionales, degradación de la tierra, químicos y desechos, y mitigación del cambio climático).
- Buscar financiación del GEF solo para los costos incrementales a fin de lograr beneficios ambientales globales.
- Involucrar a la sociedad civil en el diseño e implementación del proyecto.

En la séptima reunión de reposición de fondos (GEF-7), que tuvo lugar en abril de 2018, se programó una inversión de USD 4,4 billones en los distintos proyectos. La reposición de fondos para el cambio climático es un 30 % menor que la realizada en el GEF-6.

La puesta en funcionamiento del Fondo Verde para el Clima permite al GEF centrarse más en áreas donde promueve la innovación y la adopción de nuevas tecnologías y políticas bajas en carbono. También refleja una mayor concentración del GEF-7 en la programación integrada, según la cual el impacto climático del GEF se derivará cada vez más de la programación en otras áreas focales, por ejemplo, la biodiversidad y la degradación de la tierra. No obstante, se observa una clara mejora en las propuestas relativas a la mitigación de gases de efecto invernadero.

El Programa Piloto de Enfoque Integrado (PPEI) de Ciudades Sostenibles ha desempeñado un papel importante en el posicionamiento del GEF en el espacio urbano. Refuerza la necesidad de colaboración del GEF con las ciudades y la urbanización, tanto como impulsores de la lucha contra la degradación del medio ambiente mundial como en su calidad de actores clave en el logro de los objetivos programáticos del GEF-7. El PPEI apoya directamente a las ciudades para que persigan una planificación urbana sostenible a través de soluciones integradas que tengan en cuenta los edificios, la movilidad y la gestión de residuos.

Una de las novedades en el GEF-7 respecto al GEF-6 es la inclusión de objetivos para promover la innovación y la transferencia de tecnología para conseguir avances en energía sostenible, entre los que se encuentran las tecnologías de accionamiento eléctrico y movilidad eléctrica.

El apoyo del GEF a las opciones de transporte con bajas emisiones de carbono abarca desde inversiones para vehículos de combustión alternativa y vehículos de combustible eficiente hasta programas de autobús de tránsito rápido (BRT) y programas de bicicletas compartidas.

Basado en los avances tecnológicos y las tendencias del mercado, el mercado de vehículos eléctricos ya está en rápido crecimiento y preparado para cambiar radicalmente la necesidad de combustibles fósiles en el sector del transporte. Además de las nuevas fuentes de energía renovables, los vehículos eléctricos presentan bajas emisiones en carbono y pueden mejorar la fiabilidad de la red.

Muchos países también ven el creciente mercado de las tecnologías de accionamiento eléctrico como una forma de crear empleo a través de nuevas oportunidades en fabricación, infraestructura y servicios. Las tecnologías de transmisión eléctrica reducen significativamente la contaminación del aire local. Aun así, las barreras para la adopción de movilidad eléctrica son significativas y todavía no se ha logrado una verdadera escala comercial. El GEF apoyará a los países que buscan fomentar marcos regulatorios, planes para cambios disruptivos en el mercado y la integración de vehículos eléctricos en la red.

Los países en desarrollo y con economías en transición son receptores de ayudas del GEF. A través de diversos proyectos, estos países aportan beneficios

medioambientales globales. Cada país está representado en el Consejo del GEF a través de sus miembros y mantiene relación con la secretaría del GEF mediante centros de coordinación (*focal points*).

El GEF es el órgano de administración de otros fondos, como es el caso del Fondo Especial para el Cambio Climático (FECC). Las políticas operacionales, procedimientos y la estructura de gobierno del GEF resultan aplicables a estos fondos.

El Fondo Especial para el Cambio Climático fue establecido bajo la CMNUCC en el año 2001 con el propósito de financiar proyectos relacionados con:

- La adaptación al cambio climático.
- La transferencia de tecnología y el fomento de capacidades.
- La energía, el transporte, la industria, la agricultura, la silvicultura y la gestión de residuos.
- La diversificación de la economía para los países dependientes de combustibles fósiles.

Hasta ahora, solo están funcionando los servicios relativos a la adaptación al cambio climático y la transferencia de tecnología. Por ello, actualmente el objetivo del FECC es respaldar los programas y proyectos de adaptación al cambio climático y transferencia de tecnología que:

- se lleven a cabo a iniciativa de los países, sean eficaces en función de los costos y estén integrados en estrategias nacionales de desarrollo sostenible y de reducción de pobreza;
- tengan en cuenta las comunicaciones nacionales o los programas nacionales de acción para adaptación al cambio climático (PNAAC) y otros estudios e información pertinentes proporcionados por la parte solicitante.

El FECC ha adoptado los procedimientos del GEF y, a fin de asegurar una sólida gestión financiera, también sigue sus normas fiduciarias, los marcos basados en los resultados y las prácticas de seguimiento y evaluación del GEF. El FECC aplica, además, las políticas operacionales del GEF, salvo cuando el Consejo del FECC y el Fondo para los Países Menos Adelantados (FPMA) decide lo contrario en respuesta a orientaciones de la Conferencia de las Partes (CP). De forma resumida, el proceso y conceptos básicos para la

preparación y la ejecución de los proyectos según el ciclo de los proyectos simplificados del FECC sigue los siguientes pasos:

- El promotor del proyecto del FECC formula la idea de un proyecto y solicita la asistencia de un organismo de ejecución del GEF.
- El promotor del proyecto del FECC se asegura la ratificación del coordinador operacional del GEF en el país.
- Los proyectos de más de USD 1 millón son los “proyectos mayores”; los de hasta USD 1 millón, se denominan “proyectos medianos”. Los proyectos medianos se ajustan a un ciclo de proyecto más simplificado que el de los proyectos mayores.
- En el caso de los proyectos mayores, la presentación al GEF en el marco del FECC comienza con una ficha de identificación del proyecto (FIP) y sigue con el formulario de ratificación por la Dirección Ejecutiva. Los proyectos medianos pueden comenzar con el formulario de ratificación de la Dirección Ejecutiva. Una vez que esta ratifica el proyecto, se libera el financiamiento al organismo de ejecución.

En cuanto a los requisitos de presentación de la información se debe considerar:

- Después de la ratificación del proyecto por la Dirección Ejecutiva, el financiamiento del FECC está listo para su liberación al país a través del organismo de ejecución y puede empezar la implementación del proyecto.
- La Secretaría del GEF, con la colaboración de sus organismos, ha preparado un marco de gestión de resultados de FECC/FPMA13 a fin de medir el avance y los resultados del proyecto. Por lo tanto, el organismo de ejecución es responsable de la preparación de informes específicos durante algunas etapas del proyecto.

En el curso de la ejecución, el organismo tiene la responsabilidad de presentar informes anuales.

Análisis de cumplimiento de los criterios de elegibilidad

El proyecto de sustitución de parte de la flota de autobuses convencionales por autobuses eléctricos en América Latina cumple los requisitos necesarios para postular a los fondos verdes al suponer, principalmente, un proceso relevante en la mitigación del cambio climático.

En cuanto al Fondo Verde del Clima, se cumplen los seis criterios generales descritos previamente para evaluar el proyecto:

- **Potencial impacto.** La introducción de autobuses eléctricos supone un ahorro significativo de emisiones de gases de efecto invernadero, definido en el apartado 12.
- **Potencial de cambio de paradigma.** Implantar el proyecto de electromovilidad en el transporte público permite dar visibilidad a este tipo de proceso. Por tanto, potencia la adopción del proyecto en otros países. A su vez, al sustituir de forma gradual la flota de autobuses, también supone un potencial desarrollo del proyecto en la región, hasta conseguir que el total de la flota conste únicamente de e-buses. También propicia las oportunidades para orientar soluciones innovadoras y nuevas líneas de mercado y modelos de negocio.
- **Potencial de desarrollo sostenible.** La introducción de e-buses genera claros beneficios socioeconómicos (analizados en la actividad 3 del presente estudio). De esta forma, promueve externalidades ambientales, como la mejora de la calidad del aire y, por tanto, una mejora esperada en la salud de los habitantes de la región.
- **Necesidades del beneficiario.** Potencia las oportunidades para que el fondo derribe las barreras financieras presentes en la electromovilidad, de forma especial, el elevado costo de adquisición de los autobuses eléctricos.
- **Participación del país.** El proyecto incluye mejoras en las políticas estratégicas nacionales, en caso de ser necesarias. Además, se han realizado proyectos piloto que respaldan la capacidad del país de implementar el proyecto.

- Eficiencia y eficacia. Se aplican las explicaciones de cómo se consideran y utilizan las mejores tecnologías disponibles, así como se especifican las innovaciones o modificaciones realizados en base a las mejores prácticas de la industria.

A su vez, los proyectos también cumplen los criterios de elegibilidad del Fondo para el Medio Ambiente Global:

- Ser de un país elegible. Los países están representados en el Consejo del GEF a través de 32 miembros y los respectivos suplentes, cada uno designado por grupos de países. Todos los países nombran a funcionarios nacionales como puntos focales, responsables de las relaciones con la Secretaría y las agencias del GEF.
- Cumplir con las prioridades de desarrollo sostenible nacionales. Los proyectos de electromovilidad están en consonancia con las políticas medioambientales de los gobiernos.
- El proyecto debe abordar una o más áreas focales del GEF. El proyecto cumple con el área focal destinada a la mitigación del cambio climático. Además, cabe destacar que el GEF-7 promueve la innovación y adopción de nuevas tecnologías y políticas bajas en carbono, entre las que se encuentran las tecnologías de accionamiento eléctrico y la electromovilidad.
- El proyecto debe buscar financiación del GEF solo para los costos incrementales destinados a lograr beneficios ambientales globales. La introducción de autobuses eléctricos supone un elevado costo incremental en la adquisición de los vehículos respecto a los autobuses convencionales.
- Se involucra a la sociedad civil en el diseño e implementación del proyecto. El proyecto beneficia a los habitantes de la región al favorecer la descontaminación del aire y proporcionar un servicio de calidad.

Hipótesis de financiamiento de los proyectos de sustitución de flota con e-buses

Se plantea una hipótesis de financiamiento, tal y como se ha explicado anteriormente, en la cual los operadores privados invierten el monto equivalente al de la adquisición de autobuses diésel Euro V.

El costo diferencial de la adquisición de e-buses respecto de autobuses diésel Euro V será asumido, en la medida de lo posible, por fondos verdes y procesos de cofinanciación suscritos con entidades públicas, bancos multilaterales o asociaciones público-privadas, a través de reducciones de impuestos, subsidios e incentivos.

Para financiar el costo diferencial, el operador privado recurre a un apalancamiento financiero²³ de tal forma que el tipo de interés ofrecido por las administraciones públicas sea más bajo que el ofrecido por la banca tradicional. Así, para respaldar los canales de financiamiento, el fondo financiero (público, verde o ambos) ayuda a apalancar capital del operador privado con el fin de fomentar la participación de actores locales y pequeñas y medianas empresas.

Se plantea como hipótesis, en función del desarrollo de otros proyectos que han sido financiados por los fondos, que el fondo verde financie el 30 % del costo incremental inicial y que el 70 % restante sea mediante cofinanciación (administraciones públicas, entidades acreditadas o los propios concesionarios).

Suponiendo esta forma de financiación, a partir de los costos de inversión, serían necesarios los montos de financiamiento definidos en el cuadro 14.2 para los distintos países y porcentaje de flota a sustituir.

²³ El apalancamiento financiero o secundario es la estrategia que permite el uso de la deuda con terceros. En lugar de utilizar recursos propios, la empresa accede a capitales externos para aumentar la producción con el fin de alcanzar una mayor rentabilidad. Para ello, la empresa puede recurrir a una deuda o al capital común de accionistas. El hecho de incorporar fondos ajenos en una operación puede hacer variar la rentabilidad financiera de la empresa, debido a que la deuda genera intereses que se incorporan a los resultados de la empresa. En consecuencia, el apalancamiento financiero viene a ser el efecto que produce el endeudamiento en la rentabilidad financiera. Este efecto puede ser positivo (cuando la rentabilidad financiera aumenta), negativo (cuando disminuye) o neutro (cuando queda inalterada).

Cuadro 14.2

Monto de financiamiento con fondos verdes y cofinanciación de los proyectos de sustitución de flota

Fuente: Elaboración propia

LUGAR Y TECNOLOGÍA	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	Nº DE AUTOBUSES A SUSTITUIR	INVERSIÓN DIFERENCIAL TOTAL (USD)	FONDOS VERDES (30 % DE LA INVERSIÓN DIFERENCIAL) (USD)	COFINANCIACIÓN (70 % DE LA INVERSIÓN DIFERENCIAL) (USD)
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	344.240.000	103.272.000	240.968.000
	20 %	3.205	689.555.750	206.866.725	482.689.025
	40 %	6.410	1.379.111.500	413.733.450	965.378.050
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	443.680.000	133.104.000	310.576.000
	20 %	3.205	888.746.500	266.623.950	622.122.550
	40 %	6.410	1.777.493.000	533.247.900	1.244.245.100
QUITO (eléctrico)	10 %	300	72.090.000	21.627.000	50.463.000
	20 %	600	144.180.000	43.254.000	100.926.000
	40 %	1.205	289.561.500	86.868.450	202.693.050
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	36.045.000	10.813.500	25.231.500
	20 %	300	72.090.000	21.627.000	50.463.000
	40 %	605	145.381.500	43.614.450	101.767.050
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	158.598.000	47.579.400	111.018.600
	20 %	1.325	318.397.500	95.519.250	222.878.250
	40 %	2.655	637.996.500	191.398.950	446.597.550

Según se muestra en el cuadro, el monto de la inversión a financiar desborda el monto total anual que gestionan los fondos verdes, principalmente en los casos del 40 % de sustitución de la flota en Bogotá, Quito y Santiago.

En cuanto a la posibilidad de postulación al Fondo para el Medio Ambiente Global, encontramos como proyecto similar a la implantación de autobuses eléctricos, el proyecto n° 1.917, “*Reducing Greenhouse Gas Emissions with Bus Rapid Transit*” (Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero con BRT), en 2015, para las ciudades de Barranquilla, en Colombia, y Dar es Salaam, en Tanzania. En dicho proyecto, la inversión del GEF es de USD 724.595, de un costo total de USD 3.749.459, es decir, el 19,33 % de la inversión total.

El financiamiento de la mayoría de los proyectos sobre mitigación del cambio climático aprobados durante el GEF-5 fue de aproximadamente USD 5 millones para cada uno de ellos. Destacan algunos proyectos donde la inversión fue mayor, como es el caso del proyecto n° 4.427, “Financiamiento de

eficiencia energética en Rusia”, con un fondo de unos USD 22,17 millones (26,8 % del monto total); el n° 4.493, “Programa de Ampliación de Energías Renovables en China”, con una inversión de USD 27,3 millones (5,8 % del total), o el n° 4.500, “Proyecto de congestión y reducción de carbono en grandes ciudades en China”, con una inversión de USD 18,18 millones (18,9 % del total).

Pese a promover la innovación en tecnologías de accionamiento eléctrico y movilidad eléctrica en el GEF-7, hay que tener en cuenta que el presupuesto destinado al cambio climático es de USD 876 millones, lo que supone una disminución del 35,6 % respecto al destinado en el GEF-5 a este área de actuación.

Una financiación, por parte del GEF, del 30 % del costo de inversión inicial del proyecto con mayor introducción de autobuses (40 % de sustitución de la flota por e-buses en Bogotá), de USD 533.247.900, supondría dedicar casi un 61 % del presupuesto total del GEF-7 destinado a mitigar el cambio climático a financiar un único proyecto.

Cuadro 14.3
Posibilidad de financiación con fondos verdes
Fuente: Elaboración propia

LUGAR Y TECNOLOGÍA	PORCENTAJE DE SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	Nº DE BUSES A SUSTITUIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)	FONDOS VERDES (30 % DE LA INVERSIÓN DIFERENCIAL) (USD)	POSIBILIDAD DE OBTENCIÓN DE FONDOS VERDES
BOGOTÁ (híbrido)	10 %	1.600	200.675	547.111	103.272.000	Difícil
	20 %	3.205	401.977	1.095.931	206.866.725	Difícil
	40 %	6.410	803.955	2.191.862	413.733.450	Difícil
BOGOTÁ (eléctrico)	10 %	1.600	668.917	1.574.375	133.104.000	Difícil
	20 %	3.205	1.339.925	3.153.670	266.623.950	Difícil
	40 %	6.410	2.679.850	6.307.340	533.247.900	Difícil
QUITO (eléctrico)	10 %	300	119.450	191.921	21.627.000	Buena
	20 %	600	238.899	383.842	43.254.000	Regular
	40 %	1.205	479.789	770.884	86.868.450	Regular
MONTEVIDEO (eléctrico)	10 %	150	252.934	756.733	10.813.500	Excelente
	20 %	300	125.422	375.239	21.627.000	Buena
	40 %	605	62.711	187.620	43.614.450	Regular
SANTIAGO (eléctrico)	10 %	660	1.434.442	605.131	47.579.400	Regular
	20 %	1.325	715.870	1.214.846	95.519.250	Regular
	40 %	2.655	356.584	2.434.277	191.398.950	Difícil

En conclusión, la financiación del 30 % del costo de inversión inicial por parte de los fondos verdes es difícilmente alcanzable en la mayoría de los procesos de sustitución de la flota. Además, es necesaria la participación activa de la administración pública durante el proceso de financiación de los sobrecostos que supone la implementación del proyecto.

El cuadro 14.4 muestra los objetivos de sustitución respecto a la flota actual de autobuses de cada ciudad y la posibilidad cualitativa de que puedan ser financiados con fondos verdes. Dicha posibilidad se determina con base en la comparación de los montos totales de otros proyectos financiados con fondos verdes, ya que superan los fondos anuales previstos, o bien, sin superarlos, se concentrarían en una sola ciudad.

Los subsidios e incentivos a financiadores y operadores quedan justificados por los beneficios socioeconómicos (de un rango de magnitud de miles de millones de USD) generados por el ahorro de emisiones contaminantes, definidos en la actividad 3 del presente estudio. Además, la impulsión de la electromovilidad supone la oportunidad de ampliar la industria vehicular a las nuevas tecnologías limpias.

15 ● ● Conclusiones finales

Al principio del estudio se identificaban las barreras que podían surgir para los procesos de implementación de flotas de e-buses. A continuación, se analizan una a una dichas barreras, indicando acciones para la superación de las mismas durante el proceso de implementación.

BARRERA: Elevados costos de inversión inicial de los buses eléctricos en comparación con los buses diésel.

OBJETIVO: Conseguir la viabilidad financiera del operador.

ALTERNATIVA 1: Participación activa de la administración pública para subvencionar la parte diferencial del sobre costo que supone la renovación de las flotas de los operadores, mediante reducción de impuestos, subsidios e incentivos por menor contaminación. Dichas subvenciones pueden justificarse mediante los enormes beneficios socioeconómicos que la electromovilidad produce a la sociedad.

ALTERNATIVA 2: La administración pública adquiere y es propietaria de la flota de e-buses y estos son cedidos a los operadores en un concurso de concesión de la operación.

ALTERNATIVA 3: Se podría optar por hacer pública la adquisición, gestión y operación de los autobuses, tal y como ocurre en la mayoría de las ciudades europeas.

ACCIÓN 1: Solicitud de fondos verdes.

ACCIÓN 2: Apoyo de la banca multilateral con herramientas adecuadas para las nuevas demandas.

BARRERA: Incertidumbres en fase de operación, respecto de la vida útil y su mantenimiento.

OBJETIVO: Realizar una operación y mantenimiento eficientes.

ACCIÓN 1: Pruebas piloto de e-buses, ya realizadas en Bogotá, Santiago y Montevideo.

ACCIÓN 2: Creación de comités técnicos y elaboración de estudios especializados.

ACCIÓN 3: Participación en foros internacionales e intercambio de experiencias internacionales.

ACCIÓN 4: Garantizar el respaldo y las garantías de los proveedores durante la operación.

BARRERA: Subsidios a combustibles fósiles.

OBJETIVO: Reducir o eliminar los subsidios al combustible fósil.

ACCIÓN 1: Políticas de reducción progresiva de los subsidios a los combustibles fósiles.

ACCIÓN 2: Ofrecer una alternativa al combustible fósil viable financieramente.

ACCIÓN 3: Liberalizar el mercado energético (caso de México).

BARRERA: Necesidad de inversión en infraestructuras de recarga eléctrica.

OBJETIVO: Dotar la tecnología de infraestructuras de recarga.

ACCIÓN 1: Entendido como un sobre coste adicional, prever ayudas de financiación.

ACCIÓN 2: Participación de las empresas eléctricas o fabricantes de buses para ofrecer diseños económicos. Oportunidad de captación de nuevos clientes que se conectan a la red eléctrica de un país y una ciudad si se usa recarga inteligente (*smart charging*).

BARRERA: Limitación del alcance de las unidades eléctricas a batería.

OBJETIVO: Maximización del tiempo de recorrido de los e-buses.

ACCIÓN 1: Estudio exhaustivo de las baterías a utilizar en el vehículo tipo en función de las características del trazado y la operación particular de cada línea.

ACCIÓN 2: Seguir recomendaciones del fabricante sobre ciclos de carga y descarga.

ACCIÓN 3: Formación a conductores y mecánicos para conseguir una conducción eficiente.

ACCIÓN 4: Promoción y financiación pública de I+D+i en universidades para el desarrollo de tecnología de baterías.

BARRERA: Necesidad de formación de conductores y mecánicos especializados.

OBJETIVO: Creación de una bolsa de trabajo de operarios especializados.

ACCIÓN 1: Formación de los operarios a través de las empresas fabricantes.

ACCIÓN 2: Publicación de recomendaciones de conducción eficiente.

ACCIÓN 3: Posibilidad de contratación del fabricante para realizar el mantenimiento de la parte eléctrica los primeros años.

BARRERA: Ausencia de tarifas eléctricas específicas para el transporte.

OBJETIVO: Adecuar el régimen tarifario a la realidad de la nueva necesidad energética.

ACCIÓN 1: Negociación con las compañías eléctricas.

ACCIÓN 2: Creación de decretos tarifarios específicos.

BARRERA: Dependencia tecnológica del fabricante y necesidad de repuestos.

OBJETIVO: Mitigar la dependencia tecnológica.

ACCIÓN 1: Diversificación del mercado de los e-buses.

ACCIÓN 2: Realización de pliegos técnicos abiertos a cualquier tecnología de recarga.

ACCIÓN 3: Contratos con el fabricante para asegurar el suministro de los repuestos.

BARRERA: Necesidad de homologación vehicular.

OBJETIVO: Establecer procedimientos para la homologación técnica de los e-buses.

ACCIÓN 1: Creación de un marco regulatorio que incluya la homologación de los e-buses, en lo que respecta a motor eléctrico.

ACCIÓN 2: Adaptación de los Centros de Inspección Técnica de Vehículos para verificar las características del motor eléctrico y el estado de las baterías.

BARRERA: Ausencia de información confiable.

OBJETIVO: Acceso a información independiente y veraz.

ACCIÓN 1: Realización de estudios técnicos especializados e independientes.

Otro núcleo importante del estudio ha sido la realización de un análisis financiero desde el punto de vista

del operador para diferentes metas de sustitución de flota: un porcentaje pequeño (10 %), mediano (20 %) y grande (40 %) de la flota actual de autobuses por buses híbridos o eléctricos. En cuanto a la viabilidad financiera desde el punto de vista de los operadores, los proyectos son viables en los siguientes casos:

- Introducción de autobuses eléctricos en Bogotá, con arrendamiento de las baterías y una exención de impuestos del 30 % del precio de la energía eléctrica actual.
- Introducción de autobuses eléctricos en Montevideo, con arrendamiento de las baterías y una exención de impuestos del 50 % para combustibles fósiles y del 30 % para energía eléctrica.
- Introducción de autobuses eléctricos en Santiago, con arrendamiento de las baterías.

Cuadro 15.1
Resultados del estudio financiero en los diferentes países

Fuente: Elaboración propia

LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	CRITERIOS GENERALES DE ELEGIBILIDAD	CONDICIONES		METAS					CONCLUSIONES
		SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA ACTUAL	OTRAS CONSIDERACIONES	FINANCIERAS		AMBIENTALES			
				VPN (USD)	TIR	AHORRO COMBUSTIBLE FÓSIL (TEP)	AHORRO DE CO ₂ (T)	VALORACIÓN DEL AHORRO DE CO ₂ (USD)	
BOGOTÁ	Sustitución de parte de la flota actual de autobuses por autobús diésel marca Volvo modelo B215RH 4X2 híbrido en comparación con buses de tecnología diésel Euro V	1.600 10 %	-	-289.707.253	-	200.675	547.111	4.568.373	● No es viable financieramente.
		3.205 20 %		-580.319.842	-	401.977	1.095.931	9.151.022	● Ahorro significativo de combustible fósil y, por tanto, de emisión de gases de efecto invernadero.
		6.410 40 %		-1.160.639.684	-	803.955	2.191.862	18.302.044	
	1.600 10 %	Arrendamiento de las baterías y exención de impuestos del 10 % para energía eléctrica		20.891.294	16,78 %	668.917	1.574.375	13.146.031	● Viable financieramente.
	3.205 20 %			41.847.874	16,78 %	1.339.925	3.153.670	26.333.144	● Ahorro significativo de combustible fósil y, por tanto, de emisión de gases de efecto invernadero.
	6.410 40 %			83.695.747	16,78 %	2.679.850	6.307.340	52.666.288	
QUITO	Sustitución de parte de la flota actual de autobuses por autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico)	300 10 %	Arrendamiento de las baterías	-18.270.844	-	119.450	191.921	1.602.542	● No es viable financieramente.
		600 20 %		-36.541.688	-	238.899	383.842	3.205.084	● Ahorro significativo de combustible fósil y, por tanto, de emisión de gases de efecto invernadero.
		1.205 40 %		-73.387.890	-	479.789	770.884	6.436.878	
MONTEVIDEO	Sustitución de parte de la flota actual de autobuses por autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico)	150 10 %	Arrendamiento de las baterías y exención de impuestos del 50 % para combustibles fósiles y del 30 % para energía eléctrica	17.281.524	29,01 %	252.934	756.733	6.318.720	● Viable financieramente.
		300 20 %		8.569.351	29,01 %	125.422	375.239	3.133.249	● Ahorro significativo de combustible fósil y, por tanto, de emisión de gases de efecto invernadero.
		605 40 %		4.284.675	29,01 %	62.711	187.620	1.566.625	
SANTIAGO	Sustitución de parte de la flota actual de autobuses por autobús eléctrico BYD K9 (100 % eléctrico)	660 10 %	Arrendamiento de las baterías	165.152.480	29,93 %	1.434.442	605.131	5.052.844	● Viable financieramente.
		1.325 20 %		82.757.681	29,93 %	715.870	1.214.846	10.143.967	● Ahorro significativo de combustible fósil y, por tanto, de emisión de gases de efecto invernadero.
		2.655 40 %		41.222.694	29,93 %	356.584	2.434.277	20.326.213	

La principal ventaja que presenta cualquier proceso de sustitución de flota por e-buses es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sobre todo en la fase de operación. La contaminación atmosférica está relacionada de forma directa con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) del sector de transporte. América Latina es la región donde se produce un mayor uso de transporte público del mundo. Por lo tanto, es importante reducir la emisión de contaminantes en el transporte público y, así, reducir notablemente los efectos de los mismos en la salud humana.

Además, es preciso tener en cuenta que dichas emisiones son producidas por el sector del transporte en general, que está formado también por vehículos privados y otros tipos de tecnologías. Por tanto, para que los beneficios sociales sean aún más relevantes, se debe también fomentar el uso del transporte público mediante planes de movilidad, con medidas que incluyan la reducción de la densidad del tráfico, la restricción de vehículos privados o la concienciación ciudadana, entre otras.

Así pues, la introducción de autobuses eléctricos en América Latina presenta ahorros significativos en la

emisión de gases de efecto invernadero, produciendo claros beneficios medioambientales y socioeconómicos, al disminuir el efecto de los contaminantes en la salud humana (disminución de casos de enfermedades pulmonares y cardiovasculares) y reduciendo el impacto en el cambio climático. El ahorro derivado de los costos de la contaminación atmosférica, del ruido y del cambio climático es muy significativo, con un orden de magnitud de miles de millones de USD.

En definitiva, para conseguir la viabilidad financiera del proyecto de implantación de autobuses eléctricos en Bogotá, Montevideo y Santiago desde el punto de vista del operador, deben reunirse una serie de requisitos por parte de todos los actores implicados en el proyecto (municipalidad, gobierno, empresas distribuidoras de energía, universidades, operadores y fabricantes e importadores de autobuses), tomando las medidas mitigantes necesarias para alcanzar el objetivo de sustitución de flota deseado. Existe la posibilidad de solicitar fondos verdes (GEF y GCF) para obtener ayudas económicas en la adquisición de los vehículos tipo y la infraestructura de recarga.

Cuadro 15.2

Ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la implantación de autobuses híbridos o eléctricos en América Latina

Fuente: Elaboración propia

LUGAR DEL PROYECTO	SUSTITUCIÓN DE LA FLOTA	AHORRO DE EMISIONES (T)							
		CO ₂	NOX	PM	CO	NMCOV	N2O	NH3	CH4
BOGOTÁ (híbrido)	1.600-10 %	2.395.530	1.735	26	125	12	18	16	98
	3.205-20 %	1.197.765	3.476	52	251	25	36	33	197
	6.410-40 %	597.948	6.952	104	502	50	72	65	394
BOGOTÁ (eléctrico)	1.600-10 %	1.574.375	5.784	86	417	41	60	54	328
	3.205-20 %	3.153.670	11.587	173	836	82	120	109	656
	6.410-40 %	6.307.340	23.174	346	1.672	165	240	217	1.312
QUITO (eléctrico)	300-10 %	807.347	1.085	16	78	8	11	10	61
	600-20 %	401.999	2.169	32	157	15	22	20	123
	1.205-40 %	200.999	4.356	65	314	31	45	41	247
MONTEVIDEO (eléctrico)	150-10 %	756.733	542	8	39	4	6	5	31
	300-20 %	375.239	1.085	16	78	8	11	10	61
	605-40 %	187.620	2.187	33	158	16	23	21	124
SANTIAGO (eléctrico)	660-10 %	2.543.295	3.084	46	223	22	32	29	175
	1.325-20 %	1.269.252	6.191	93	447	44	64	58	351
	2.655-40 %	632.231	12.404	185	895	88	128	116	703

Con independencia de la viabilidad financiera, se ha calculado el ahorro de combustible y de emisión de gases de efecto invernadero para cada proyecto y meta, los cuales producen un beneficio socioeconómico estimado del orden de miles de millones de dólares para cualquier ciudad. Las autoridades nacionales y locales deben tener en cuenta ese beneficio, puesto que puede ayudar a cumplir los compromisos sobre medio ambiente y cambio climático establecidos en sus políticas y planes a medio y largo plazo.

16 Documentos de referencia

AEMA (2017). *EMP air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Last update june 2017*. Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).

Alcaldía de Bogotá (2013). *Decreto 477, del 21 de octubre de 2013, por medio del cual se adopta y estructura el Plan de Ascenso Tecnológico (PAT) para el Sistema Integrado de Transporte Público y se dictan otras disposiciones*.

Alcaldía de Bogotá. Disponible en <https://www.transmilenio.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=visorpdf&id=13090&pdf=1>

ANH (2014). El consumo de diésel crece 4,5 %. Noticias Institucionales. Agencia Naiconal de Hidrocarburos. Sala de Prensa. Santa Cruz. Disponible en <https://www.anh.gob.bo/index.php?N=noticias&O=803>

ARDANUY Ingeniería (2018). *Estudio de alternativas de financiamiento para eliminación de barreras normativas para consolidar la electromovilidad en el transporte público de América Latina. Actividad 1. Informe del marco de política y normativa. Matriz comparativa*. CAF.

Automatización Industrial y Más (23 abril 2012). “IEC 61511: SIS safety life-cycle – Etapa 1”. *Safety Instrumented Systems (SIS). Introduction (part 2)*. Disponible en <https://automatizacionindustrialymas.wordpress.com/2012/04/23/iec-61511-sis-safety-life-cycle-etapa-1/>

Bloomberg New Energy Finance (2018). *Electric Buses in Cities. Driving towards Cleaner Air and Lower CO₂*. Disponible en <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>

BID, Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades C40 y Fundación Clinton (2013). *Las tecnologías de bajo carbono pueden transformar las flotas de buses en Latinoamérica*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Disponible en Cambio. (10 de noviembre de 2016). Subsidio para combustible en 2017 llega a USD 489 millones. *Cambio*. Disponible en <http://www.cambio.bo/?q=node/16555> <https://publications.iadb.org/en/publication/16337/low-carbon-technologies-can-transform-latin-americas-bus-fleets>

Cambio (10 de noviembre de 2016). Subsidio para combustible en 2017 llega a USD 489 millones. *Cambio*. Disponible en <http://www.cambio.bo/?q=node/16555>

Carlino, H., y Carlino, M. (15 de Noviembre de 2015). Subsidio a los combustibles fósiles en América Latina; enfrentado el reto una estructura de incentivos perversos. IDDRI-SciencePO. Disponible en: http://www.iddri.org/Publications/Collections/Idees-pour-le-debat/WP1515_ES.pdf ; <https://www.iddri.org/en/publications-and-events/document-de-travail/fossil-fuel-subsidies-latin-america-challenge-perverse>

Climate transparency (2017). Brown to Green: The G20 Transition to a Low-carbon Economy 2017. Berlin. Country Profiles. <http://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2017/07/B2G2017-Brazil.pdf>

Comisión Europea. “Informes del programa europeo ZeEUS”, Comisión europea, 2017. En particular, “ZeEUS eBus Report #2” que se puede traducir como “Informe n° 2 sobre sistemas de buses urbanos de cero emisiones” <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf>

Comisión Europea, DG MOVE (2014). Update of the Handbook on External Cost of Transport.

Cruz Pizarro, A. (s.f.). Administración y Transportes. Blog. Accesible en <http://administracionytransportes.cl/>

Esticast Research & Consulting, (2018). *Lithium-ion Battery Recycling Market By Type (NMC, LFP, LMO, Li-TO, NCA, Li-CO), By Application (Automotive, Power, Marine, Industrial), Industry Trends, Estimation & Forecast, 2017-2025*.

EPMT (s.f.). Quito. Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros. Accesible en <http://www.trolebus.gob.ec>

Galarza, S (2017). *Climate & Clean Air Coalition: Promoting Soot Free Urban Buses in Developing Economies*. Centro Mario Molina Chile. Presentación en Santiago, 10 de mayo de 2017. Disponible en <http://electromovilidad.org/wp-content/uploads/2017/05/Soot-free-bus-project.pdf>

GCF (2015). “Initial investment framework: activity-specific sub-criteria and indicative assessment factors”. *GDF/B.09/23, Decisiones de la Junta*, Novena Reunión de la Junta, 24-26 de Marzo de 2015. Disponible en https://www.greenclimate.fund/documents/20182/239759/Initial_investment_framework__activity-specific_sub-criteria_and_indicative_assessment_factors.pdf/771ca88e-6cf2-469d-98e8-78be2b980940

Global-Rates (2018). “IPCA en Europa en los últimos años”. *Inflación Europa (IPCA). Tablas - IPCA Eurozona actual e histórico*. Triami Media BV. Utrecht, Países Bajos. Recuperado en 1 de abril de 2018 de <https://es.global-rates.com/estadisticas-economicas/inflacion/indice-de-precios-al-consumo/ipca/eurozona.aspx>

Grütter, J. (2015). *Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos. Rendimiento ambiental y económico de buses híbridos y eléctricos basados en grandes flotas operacionales*. REPIC-Grütter Consulting, 2015. Disponible en http://www.replic.ch/files/4414/4126/7584/Grutter_FinalReport_esp_web.pdf

Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático y Boston Strategies International (2016). Estudios de cadenas de valor de tecnologías climáticas seleccionadas para apoyar la toma de decisiones en materia de mitigación en el sector autotransporte y contribuir al fortalecimiento de la innovación y desarrollo de tecnología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279634/CGMCC_2016_Cadenas_de_valor_autotransporte.pdf

Infobae (9 de mayo de 2019). “El Gobierno liberó el precio de las naftas tras 16 años, pero no habría aumentos en lo inmediato”. Disponible en <https://www.infobae.com/economia/2017/09/25/el-gobierno-libero-el-precio-de-las-naftas-pero-no-autorizara-aumentos-en-lo-inmediato/>

INFRAS (2004). *Costes externos del transporte. Estudio de actualización*. Disponible en <https://transportpublic.org/images/pdf/20041000-infras-costosexterns.pdf>

Ley N° 20.378, que crea un Subsidio Nacional para el Transporte Público Remunerado de Pasajeros. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones; Subsecretaría de Transporte. Disponible en <https://legislacion-oficial.vlex.cl/vid/subsidio-transporte-remunerado-pasajeros-464712809>

Madrid Salud (2017). *Impacto de la movilidad urbana en la salud. Plan de Movilidad Empresarial como estrategia de prevención en Madrid Salud*. Disponible en http://madridsalud.es/gestion_ambiental/pdfs/Impacto_%20de_la_movilidad_urbana_en_la_salud.pdf

Mendoza, M. A. (2014). *Panorama preliminar de los subsidios y los impuestos a las gasolinas y diésel en los países de América Latina*. CEPAL-Cooperación Alemana. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37431/S1420710_es.pdf

MIEM, Intendencia de Montevideo, UTE y BYD (2013). *Pruebas de campo bus 100 % eléctrico. Montevideo, Uruguay*. Ministerio de Industria, Energía y Minería. Disponible en https://www.miem.gub.uy/sites/default/files/informe_pruebas_bus_electrico_byd.pdf

Ministerio de Minas y Energía de Colombia (s.f.). “Hidrocarburos”. *El futuro es de todos. Minenergía. Hidrocarburos*. Bogotá. Disponible en <https://www.minminas.gov.co/hidrocarburos>

Ministerio de Minas y Energía de Colombia (30 de diciembre de 2016). Entra en vigencia impuesto verde para desestimular uso de combustibles fósiles. *El futuro es de todos. Minenergía*. Bogotá. Disponible en <https://www.minminas.gov.co/web/guest/historico-de-noticias?idNoticia=23846446>

Mitchell, G. (2015). *Building a Business Case for Compressed Natural Gas in Fleet Applications* (Construyendo un modelo de negocio para gas natural comprimido aplicado a flotas). National Renewable Energy Laboratory. Disponible en www.nrel.gov/docs/fy15osti/63707.pdf

Música Carvajal, J. I. (2014). *Recomendaciones para la introducción progresiva de la tecnología de propulsión eléctrica en el transporte público de Santiago*. Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Norma Europea EN 50126 de septiembre de 1999. Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Parte 1: Procesos RAMS genéricos (BOE N° 58 del 8 de marzo de 2002).

OLADE (noviembre de 2016). “OLADE y expertos internacionales analizan la reforma de subsidios de combustibles fósiles”. Disponible en <http://www.olade.org/noticias/olade-expertos-internacionales-analizan-la-reforma-subsidios-combustibles-fosiles/>

OMS (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. Organización Mundial de la Salud (OMS). Disponible en <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf;jsessionid=F22BD4B0ADCA8C4551B5771C05115EA2?sequence=1>

PNUMA (2016). *Movilidad Eléctrica. Oportunidades para América Latina*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Disponible en http://www.pnuma.org/cambio_climatico/publicaciones/informe_movilidad_electrica.pdf

Presidencia-Ministerio de Energía y Minería de Argentina (s.f.). Nuevo estado de situación. Disponible en http://www.gasnaturalfenosa.com.ar/servlet/ficheros/1297151684426/Anuncio_Tarifas_Gas_presentacin_corta.pdf

Presidencia de la República de Ecuador (22 de octubre de 2015). Decreto 799. Registro Oficial. Suplemento. Año III, N° 613. Disponible en <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/MARCO-LEGAL-2016/Registro-Oficial-Suplemento-613-Decreto-Ejecutivo-799.pdf>

RICARDO-AEA (2014). *Update of the Handbook on External Costs of Transport*. Informe para la Dirección General de Movilidad y Transporte de la Comisión Europea (DG MOVE). Comisión Europea. Disponible en https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/handbook_on_external_costs_of_transport_2014_0.pdf

Secretaría Nacional de la Administración Pública de Ecuador. Portal web oficial, suprimido por el Decreto Presidencial Nro. 5 emitido el 24 de mayo de 2017 (<http://www.hidrocarburos.gob.ec>)

Transmilenio (Enero, 2017). Informe de gestión 2016. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría Distrital de Movilidad. Disponible en https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/149455/publicacionesla_entidadtransparencia_y_acceso_a_la_informacion_publica_transmilenio7_controlinforme_de_gestion_2016/

Transmilenio (Diciembre, 2017). *Transmilenio en Cifras. Estadísticas del sistema de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)*. Informe nº 48. Alcaldía Mayor de Bogotá. Disponible en https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/150098/publicacionesestadisticas_de_oferta_y_demanda_del_sistema_integrado_de_transporte_publico_sitp_noviembre_2017/

Vergara, W., Fenhann, J. V., Schletz, M. C. (2017). *Carbono Cero América Latina. Una vía para la descarbonización neta de la economía regional para mediados de este siglo*. PNUMA. Disponible en http://www.pnuma.org/publicaciones/2016_03_Zero%20Carbon_ES_05.pdf

