

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

# Escenarios de emisiones hacia 2030

Potencial de reducción de la presión ambiental  
provocada por los autobuses del transporte público  
en Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México,  
Santiago y São Paulo

Juan Camilo López Restrepo  
Juan Carlos Castillo Herrera  
Juan Esteban Tibaquirá Giraldo  
Daniel Alberto Ríos Osorio



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

# Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 [www.cepal.org/es/publications](http://www.cepal.org/es/publications)

 [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)

## Escenarios de emisiones hacia 2030

Potencial de reducción de la presión ambiental provocada  
por los autobuses del transporte público en Bogotá, Buenos Aires,  
Ciudad de México, Santiago y São Paulo

Juan Camilo López Restrepo  
Juan Carlos Castillo Herrera  
Juan Esteban Tibaquirá Giraldo  
Daniel Alberto Ríos Osorio



NACIONES UNIDAS



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento fue preparado por Juan Camilo López Restrepo, Juan Carlos Castillo Herrera, Juan Esteban Tibaquirá Giraldo y Daniel Alberto Ríos Osorio, Consultores de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la coordinación técnica y supervisión de Luiz Krieger, Oficial de Asuntos Económicos de la mencionada División de la CEPAL, y de Luis Felipe Quirama Londoño, de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia), en el marco del proyecto “Ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe”, ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. El proyecto forma parte del programa de cooperación CEPAL/BMZ-GIZ.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas  
LC/TS.2022/135  
Distribución: L  
Copyright © Naciones Unidas, 2022  
Todos los derechos reservados  
Impreso en Naciones Unidas, Santiago  
S.22-00596

Esta publicación debe citarse como: J. C. López Restrepo y otros, “Escenarios de emisiones hacia 2030: potencial de reducción de la presión ambiental provocada por los autobuses del transporte público en Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Santiago y São Paulo”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/135), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

## Índice

<b>Introducción</b> .....	<b>7</b>
<b>I. Bogotá</b> .....	<b>11</b>
A. Parámetros socioeconómicos.....	11
B. Características de la flota de buses del transporte público .....	12
C. Proyecciones y escenarios 2030 .....	14
1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU .....	14
2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad .....	15
3. Análisis del cumplimiento de las NDCs.....	17
<b>II. Buenos Aires</b> .....	<b>19</b>
A. Parámetros socioeconómicos.....	19
B. Características de la flota de buses del transporte público .....	20
C. Proyecciones y escenarios 2030 .....	22
1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU .....	22
2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad .....	23
3. Análisis del cumplimiento de las NDCs.....	25
<b>III. Ciudad de México</b> .....	<b>27</b>
A. Parámetros socioeconómicos.....	27
B. Características de la flota de buses del transporte público .....	28
C. Proyecciones y escenarios 2030 .....	30
1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU .....	30
2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad .....	32
3. Análisis del cumplimiento de las NDCs.....	35
<b>IV. Santiago de Chile</b> .....	<b>37</b>
A. Parámetros socioeconómicos.....	37
B. Características de la flota de buses del transporte público .....	38
C. Proyecciones y escenarios 2030 .....	40
1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU .....	40

2.	Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad .....	41
3.	Análisis del cumplimiento de las NDCs.....	43
<b>V.</b>	<b>São Paulo.....</b>	<b>45</b>
A.	Parámetros socioeconómicos.....	45
B.	Características de la flota de buses del transporte público .....	46
C.	Proyecciones y escenarios 2030 .....	48
1.	Escenarios de emisiones 2030 – BAU .....	48
2.	Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad .....	49
3.	Análisis del cumplimiento de las NDCs.....	51
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>53</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>55</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>59</b>
	Anexo A1 .....	60
	Anexo A2 .....	64
	Anexo A3 .....	66
	Anexo A4 .....	68
	Anexo A5 .....	70
	Anexo A6 .....	72
	<b>Cuadros</b>	
Cuadro 1	NDCs de Colombia, Argentina, México, Chile y el Brasil .....	7
Cuadro 2	Metas de electromovilidad.....	8
Cuadro 3	Variables consideradas en los modelos .....	10
Cuadro 4	Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de Bogotá .....	13
Cuadro 5	Factores de operación de la flota de buses urbanos de Bogotá .....	14
Cuadro 6	Participación tecnológica de los buses de Bogotá – Escenario de electromovilidad	
Cuadro 7	Participación tecnológica de los buses de Bogotá – Escenario de electromovilidad .....	18
Cuadro 8	Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de CABA .....	21
Cuadro 9	Factores de operación de la flota de buses urbanos de CABA .....	21
Cuadro 10	Participación tecnológica de los buses de Bogotá – Escenario de electromovilidad .....	24
Cuadro 11	Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de CDMX.....	29
Cuadro 12	Factores de operación de la flota de buses urbanos de CDMX .....	30
Cuadro 13	Participación tecnológica de los buses de CDMX – Escenarios de electromovilidad .....	32
Cuadro 14	Participación tecnológica de los buses de CDMX – Cumplimiento NDC.....	35
Cuadro 15	Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de Santiago.....	39
Cuadro 16	Factores de operación de la flota de buses urbanos de Santiago de Chile .....	40
Cuadro 17	Participación tecnológica de los buses de Santiago – Escenarios de electromovilidad .....	42
Cuadro 18	Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de São Paulo. ....	47
Cuadro 19	Factores de operación de la flota de buses urbanos de São Paulo.....	47
Cuadro 20	Participación tecnológica de los buses de São Paulo – Escenario de electromovilidad.....	50
Cuadro 21	Participación tecnológica de los buses de São Pablo – Cumplimiento de la NDC .....	52
Cuadro A1.1	Producto interno bruto per cápita a precios actuales. ....	60
Cuadro A1.2	Variación porcentual del producto interno bruto según estimación mediante funciones de tendencia.....	61
Cuadro A1.3	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> .....	63
Cuadro A2.1	Proyección de parámetros socioeconómicos de Colombia y Bogotá .....	64

Cuadro A2.2	Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de Bogotá .....	64
Cuadro A2.3	Evolución de los estándares de emisiones para Colombia .....	65
Cuadro A3.1	Proyección de parámetros socioeconómicos de Argentina y Buenos Aires .....	66
Cuadro A3.2	Caracterización de la flota de automóviles y buses de la CABA.....	66
Cuadro A3.3	Evolución de los estándares de emisiones para Argentina .....	67
Cuadro A4.1	Proyección de parámetros socioeconómicos de México y CDMX.....	68
Cuadro A4.2	Caracterización de la flota de automóviles y buses de CDMX .....	68
Cuadro A4.3	Evolución de los estándares de emisiones para México .....	69
Cuadro A5.1	Proyección de parámetros socioeconómicos de Chile y Santiago .....	70
Cuadro A5.2	Caracterización de la flota de automóviles y buses de Santiago .....	70
Cuadro A5.3	Evolución de los estándares de emisiones para Chile.....	71
Cuadro A6.1	Proyección de parámetros socioeconómicos de Brasil y São Paulo.....	72
Cuadro A6.2	Caracterización de la flota de automóviles y buses de São Paulo.....	72
Cuadro A6.3	Evolución de los estándares de emisiones para Brasil.....	73

### Gráficos

Gráfico 1	PIB per cápita Bogotá, 2010-2030 .....	12
Gráfico 2	Histórico de la flota de buses urbanos de Bogotá, 2010-2020 .....	13
Gráfico 3	Proyección de la flota de buses urbanos Bogotá, 2021-2030.....	14
Gráfico 4	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá (BAU) .....	15
Gráfico 5	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá (BAU) .....	15
Gráfico 6	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá: programa de electromovilidad .....	16
Gráfico 7	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá: programa de electromovilidad .....	17
Gráfico 8	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá: cumplimiento de las NDCs.....	18
Gráfico 9	PIB per cápita Buenos Aires, 2010-2030.....	20
Gráfico 10	Histórico de la flota de buses urbanos de Buenos Aires, 2010-2020 .....	21
Gráfico 11	Proyección de la flota de buses urbanos Buenos Aires, 2021-2030 .....	22
Gráfico 12	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires (BAU) .....	23
Gráfico 13	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires (BAU) .....	23
Gráfico 14	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires: programa de electromovilidad .....	24
Gráfico 15	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires: programa de electromovilidad .....	25
Gráfico 16	PIB per cápita ciudad de México, 2010-2030.....	28
Gráfico 17	Histórico de la flota de buses urbanos CDMX, 2010-2020 .....	29
Gráfico 18	Proyección de la flota de buses urbanos, 2021-2030 .....	30
Gráfico 19	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX (BAU).....	31
Gráfico 20	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX (BAU).....	31
Gráfico 21	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: meta de electromovilidad .....	33
Gráfico 22	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: meta de electromovilidad .....	33
Gráfico 23	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: líneas de acción.....	34
Gráfico 24	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: líneas de acción.....	34

Gráfico 25	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: cumplimiento de las NDCs.....	36
Gráfico 26	PIB per cápita Santiago de Chile, 2010-2030 .....	38
Gráfico 27	Histórico de la flota de buses urbanos de Santiago de Chile, 2010-2020 .....	39
Gráfico 28	Cantidad de buses Santiago de Chile, 2021-2030 .....	40
Gráfico 29	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago (BAU) .....	41
Gráfico 30	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago (BAU) .....	41
Gráfico 31	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago: programa de electromovilidad .....	42
Gráfico 32	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago: programa de electromovilidad .....	43
Gráfico 33	PIB per Cápita São Paulo, 2010-2030 .....	46
Gráfico 34	Histórico de la flota de buses urbanos de São Paulo, 2010-2020 .....	47
Gráfico 35	Proyección de la flota de buses urbanos São Paulo, 2021-2030 .....	48
Gráfico 36	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo (BAU) .....	49
Gráfico 37	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología 2020-2030 – São Paulo (BAU) .....	49
Gráfico 38	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo: programa de electromovilidad .....	50
Gráfico 39	Proyección de emisiones de PM <sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo: programa de electromovilidad .....	51
Gráfico 40	Proyección de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Cumplimiento de las NDCs .....	52

## Introducción

Para realizar un aporte en la reducción del consumo de recursos energéticos, apoyar con el cumplimiento de los objetivos del Acuerdo de París, así como con los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados, cada país de América Latina y el Caribe en compañía de sus entidades públicas y privadas, ha impulsado la inversión en estrategias para alcanzar la descarbonización del sector transporte por carretera. En el Cuadro 1 se presentan las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) propuestas en Colombia, Brasil, Argentina, México y Chile, así como la contribución específica en el sector transporte.

**Cuadro 1**  
**NDCs de Colombia, Argentina, México, Chile y el Brasil**

País	NDCs	NDCs sector transporte
Colombia (Gobierno de Colombia, 2020)	Emitir como máximo 169,44 MtCO <sub>2e</sub> al 2030, equivalente a una reducción del 51% al respecto a un escenario BAU.	La NDC no incluye metas sectoriales para el transporte. Sin embargo, proyecta emisiones para el sector energía sin escenario de mitigación: 124,80 MtCO <sub>2e</sub> .
Argentina (Gobierno de Argentina, 2020)	La República Argentina no excederá la emisión neta de 359 MtCO <sub>2e</sub> en el año 2030, aplicable a todos los sectores de la economía.	Sector transporte al 2016, responsable del 13,8% de los GEI emitidos.
México (Gobierno de México, 2020)	México se compromete de manera no condicionada a reducir sus emisiones de GEI en un 22% y las de carbono negro en un 51% al 2030 respecto a la línea BAU ( <i>Business as usual</i> ). El escenario tendencial proyectado al 2030, sin intervención de política de mitigación se cuantificó en 991 MtCO <sub>2e</sub> al año 2030. La reducción de emisiones no condicionadas al 2030 se traduce aproximadamente en 210 MtCO <sub>2e</sub> . En complemento, el Gobierno plantea compromisos condicionados en aras de alcanzar una meta de reducción de hasta el 36% de las emisiones de GEI y 70% de las emisiones de carbono negro al 2030 respecto al escenario tendencial.	Emisiones proyectadas en el sector transporte sin escenario de mitigación a 2030: 250 MtCO <sub>2e</sub> .

Cuadro 1 (conclusión)

País	NDCs	NDCs sector transporte
Chile (Gobierno de Chile, 2020)	Chile se compromete a un presupuesto de emisiones de GEI que no superará las 1100 MtCO <sub>2e</sub> , entre el 2020 y 2030. Alcanzando un nivel de emisiones de GEI de 95 MtCO <sub>2e</sub> al 2030. Esto equivale a una reducción del 30% de las emisiones de GEI respecto a lo emitido en 2016. Además, bajo ciertas condiciones, el gobierno le apunta a superar esta meta, apuntando a un potencial de reducción de emisiones al 2030 del 45%, respecto al 2016.	Las medidas enfocadas en el sector transporte incluyen planes de electrificación para vehículos privados y comerciales, taxis y autobuses, las cuales desempeñarán un papel importante para lograr la neutralidad de GEI. Se proyecta una reducción de 10,2 MtCO <sub>2e</sub> para estas medidas.
Brasil	Reducir las emisiones de GEI al 37% en el 2025 y disminuir en un 50% las emisiones en el 2030, ambas cifras comparadas con las emisiones del 2005 (Federative Republic Of Brazil, 2021).	La actualización de la NDC no incluye metas sectoriales. Sin embargo, en la versión 2018 se establece que aplicando las medidas de mitigación para el sector transporte, se puede obtener una reducción de 12,8 MtCO <sub>2e</sub> (Fórum Brasileiro de Mudança do Clima, 2018).

Fuente: Elaboración propia a partir de referenciación bibliográfica.

Entre las medidas más destacadas para cumplir con las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), se encuentra el cambio de tecnologías de motorización hacia vehículos de bajas y cero emisiones. La inclusión de este tipo de vehículos debe ser estudiada a nivel ciudad, para analizar los beneficios energéticos y ambientales, y así iniciar la transición hacia la sostenibilidad del transporte. A partir de la revisión de planes desarrollados a nivel país y ciudad, se ha identificado que a nivel regional se ha iniciado el proceso de reemplazo de las flotas de buses que operan con combustible diésel por buses eléctricos, con la intención de reducir las concentraciones de Material Particulado (PM<sub>2,5</sub>) y demás emisiones contaminantes que afectan la calidad de vida de los usuarios y de las personas que habitan en zonas urbanas. En el cuadro 2, se presentan las metas porcentuales de inclusión de vehículos eléctricos, o compromisos para que el transporte público opere con vehículos de bajas o cero emisiones en las ciudades principales de los países de estudio.

**Cuadro 2**  
**Metas de electromovilidad**

País	Ciudad	Transporte de pasajeros
Colombia	Bogotá	Sistema de transporte masivo operando con combustibles limpios al 2050: 20% eléctrico, 50% combustibles de bajas emisiones y 30% gas natural (UPME, 2019). 10% de las ventas de buses urbanos serán cero emisiones para el 2025 y el 100% para el 2035 (Kohli et al., 2022). <b>Meta:</b> Propender para que desde el año 2040 todos los vehículos de servicio público o particular que circulen en el Distrito Capital operen con motores eléctricos o tecnologías que generen cero emisiones de material particulado (Concejo de Bogotá, 2018). <b>Línea de acción:</b> La Capital no podrá adelantar procesos de adquisición de la flota de transporte público, cuya base de movilidad esté soportada en el uso de combustibles fósiles, lo cual implica una renovación de la flota a 2037 según las proyecciones de TransMilenio S.A (Concejo de Bogotá, 2018).
Argentina	Buenos Aires	Incentivos para una movilidad limpia, mediante reducción de arancel de importación para vehículos de bajas emisiones. Se prevé la compra de 350 buses eléctricos en todo Argentina (Ministerio de Transporte de Argentina, 2018a). <b>Buenos Aires:</b> Al año 2019, se tenían en operación de 2 Buses eléctricos. Se planea que para el 2030 el 10% de los buses sean eléctricos y el 30% para el 2050 (Baruj et al., 2021).

Cuadro 2 (conclusión)

País	Ciudad	Transporte de pasajeros
México	Ciudad de México	<p>La visión a largo plazo de la estrategia plantea que la Ciudad de México (CDMX) alcance una movilidad cero emisiones, basadas en la electricidad como principal fuente de energía, generada a partir de fuentes renovables.</p> <p><b>Meta:</b> El 20% de la flota de transporte público colectivo es eléctrica en el 2030.</p> <p><b>Líneas de acción:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover que 30% de la flota de Metrobús sea eléctrica al 2030 (300 autobuses eléctricos).</li> <li>- Duplicar la participación de trolebuses de nueva generación bajo el Sistema de Transportes Eléctricos en comparación a la flota del 2016 (565 trolebuses).</li> <li>- El 15% de los autobuses del Sistema de Movilidad 1 (SM1) serán eléctricos al 2030 (225 autobuses eléctricos).</li> <li>- Diseñar un esquema de chatarrización para la sustitución de autobuses con más de 10 años de antigüedad que contemple la adquisición de un autobús eléctrico.</li> <li>- Diseñar en conjunto con la Comisión Ambiental Metropolitana (CAME) un esquema de préstamos preferenciales para la obtención de autobuses o taxis híbridos y/o eléctricos.</li> <li>- Sustituir el 18% de autobuses de pasajeros con tecnologías diésel menor a Euro VI que salgan de circulación por autobuses híbridos o eléctricos bajo el sistema de transporte público colectivo concesionado (2,300 autobuses eléctricos) (CFF &amp; Carbon Trust México, 2018).</li> </ul>
Chile	Santiago de Chile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El 20% de los buses en el área metropolitana serán eléctricos (Palma Behnke et al., 2019).</li> <li>- El 100% de las ventas de transporte público (buses, taxis y colectivos) serán cero emisiones para el 2035 (Gobierno de Chile, 2022).</li> </ul> <p><b>Santiago:</b> 776 Buses eléctricos, representa un 10,45% del total de buses de la ciudad, y evita 84,28 ktCO<sub>2e</sub> por año. Otros 991 buses eléctricos ya fueron adjudicados y pronto serán desplegados en la ciudad (E-bus Radar, 2022).</p>
Brasil	São Paulo	<p>En un escenario conservador se espera un aumento de 114 e-buses a 200 en 2023, 400 en 2025 y 1000 en 2030 en todo el territorio nacional (Barassa et al., 2020). Considerando un escenario con regulación nacional, el 39% de los buses de transporte público en todo Brasil serán eléctricos en el año 2030 (PNME, 2021).</p> <p><b>São Paulo:</b> La prefectura de la ciudad, plantea que al 2024, al menos el 20% de la flota de transporte público estará compuesta por buses eléctricos (Prefeitura da Cidade de São Paulo, 2021).</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de referenciación bibliográfica.

A pesar de las metas propuestas por las ciudades, la participación actual de vehículos de bajas y cero emisiones en el transporte público de América Latina y el Caribe es mínima. Sin embargo, se cuenta con el potencial para su implementación, por lo tanto, en este documento se evalúan los impactos de los planes de electromovilidad para los buses de transporte público de Bogotá, Buenos Aires, Santiago de Chile y Ciudad de México, sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub>, así como su contribución para dar cumplimiento a las NDC de cada país.

Lo anterior, se realiza considerando los modelos matemáticos construidos en la "Herramienta Evaluación del Consumo Energético y de Emisiones Vehiculares" (HECEV), los cuales relacionan parámetros energéticos, de emisiones y de tecnología vehicular de la flota de buses del transporte público. Como resultado final, se espera que la evaluación y análisis de estos escenarios, mediante modelos de estimación, proporcione un insumo técnico en materia de emisiones y consumo de energía de los buses del sector transporte público en ciudades de América Latina. Así mismo, que sirva de soporte al nuevo programa de la Cooperación Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL-BMZ/GIZ 2020-2022).

Para proyectar la cantidad de buses, energía consumida y emisiones generadas, se emplea la metodología desarrollada en HECEV, la cual fue diseñada por el Grupo de Investigación en Gestión Energética (GENERÉTICA) de la Universidad Tecnológica de Pereira. En esta, se enlazan las variables de entrada con indicadores energéticos, ambientales, económicos, de salud y de costo-beneficio. De esta manera, se evalúan los impactos debidos a la diversificación de la canasta energética, a través del

aumento y la incorporación de nuevas tecnologías de motorización en el mediano y largo plazo. Para considerar las diferentes clases de buses existentes en las ciudades de Buenos Aires, Bogotá, São Paulo y Ciudad de México, los modelos matemáticos de la herramienta HECEV, fueron ajustados y validados para calcular indicadores energéticos y ambientales en las clases (microbús, bus y articulados), tal como se presenta en el anexo A1. Para emplear los modelos ajustados y realizar las proyecciones se consideraron las variables presentadas en el cuadro 3.

**Cuadro 3**  
**Variables consideradas en los modelos**

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>	<b>Modelo</b>
Número de habitantes	Cantidad de habitantes por país y ciudad	Socioeconómico
Producto Interno Bruto (PIB)	PIB para el país y la ciudad de análisis, en MUSD	
PIB per cápita	Relación entre el número de habitantes y el PIB de la ciudad y el país, en USD/persona	
Intensidad de uso	Promedio de kilómetros recorridos en un año por un vehículo de una determinada clase, en km	Caracterización
Stock vehicular	Cantidad de vehículos acumulados de la flota hasta el momento	
Vida útil	Cantidad máxima de tiempo que los vehículos pueden operar, en años	
Rendimiento de combustible	Cantidad de consumo de combustible consumido por distancia recorrida, en km/l	
Poder calorífico del combustible	Cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen, en kJ/kg	Energía
Densidad de combustible	Cantidad de masa por unidad de volumen, en kg/l	
Eficiencia energética proyectada	Aumento en la eficiencia de los vehículos en el periodo analizado, en porcentaje	
Factores de emisión	Índice de emisión específica en términos de masa contaminante por distancia recorrida, en g/km	Emisiones
Calendario normativo de estándar de emisión	Estándares de emisión (Euro) exigidos en un país en determinado año o periodo	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los parámetros socioeconómicos, las características técnicas del transporte público y las proyecciones de emisiones en cada ciudad del país de estudio al año 2030, considerando los escenarios:

- *Business As Usual* (BAU),
- Implementación de los planes de electromovilidad,
- Cumplimiento de las NDCs.

## I. Bogotá

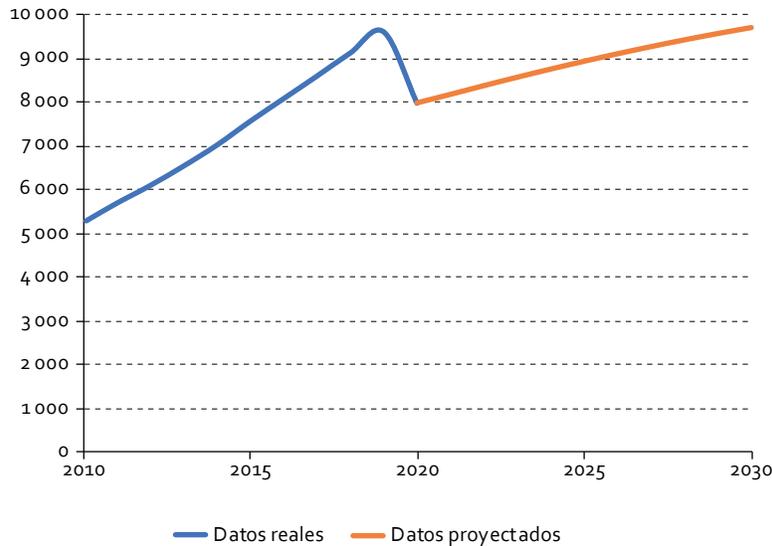
En las NDCs de Colombia, el país se compromete a emitir como máximo 169,44 MtCO<sub>2e</sub> al 2030 (Gobierno de Colombia, 2020). Esto representa una reducción de 176 MtCO<sub>2e</sub>, considerando un escenario BAU donde se espera emitir 345,8 MtCO<sub>2e</sub>, lo que equivale a una reducción del 51% de emisiones proyectadas al 2030. Por lo tanto, para el sector transporte, se considerará un escenario de mitigación alineado a las metas nacionales de reducción de emisiones. Se supone que para dar cumplimiento a las NDCs nacionales, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector transporte deberán reducirse en un 51%, respecto al escenario BAU. Para alcanzar este objetivo el gobierno de Colombia está comprometido con el desarrollo de su estrategia de electromovilidad y, en Bogotá, se ha establecido la meta principal de que a partir del 01 de enero de 2022 todas las adquisiciones de la flota de transporte público no podrán estar soportadas en el uso de combustibles fósiles (Concejo de Bogotá, 2018).

### A. Parámetros socioeconómicos

De acuerdo con datos del Banco Mundial, se estima que en 2020 el PIB per cápita de Colombia fue de 5335 USD/habitante (Banco Mundial, 2022a). Por otra parte, a partir de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia (DANE), se estima que para el año 2020 el PIB per cápita de la ciudad de Bogotá fue de 7988 USD/habitante (DANE, 2020).

A continuación, el gráfico 1 presenta el comportamiento y la proyección del PIB entre 2010 y 2030, obtenida a partir del anexo A1 – Modelos matemáticos.

**Gráfico 1**  
**PIB per cápita Bogotá, 2010-2030**  
 (En USD)



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a), DANE (2020) y proyecciones realizadas.

## B. Características de la flota de buses del transporte público

El Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá (SITP) es un sistema organizado e integrado de buses de servicio público que buscan el cubrimiento efectivo del transporte en Bogotá. Está compuesto por los siguientes servicios:

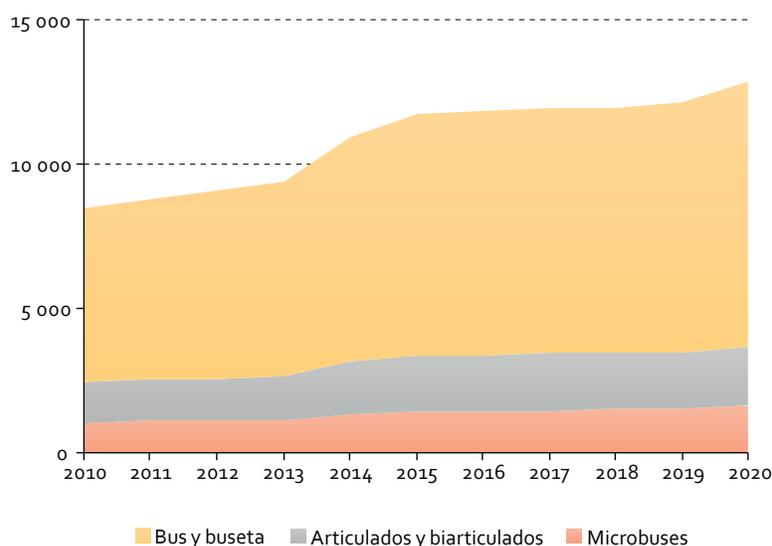
- Transmilenio
- Alimentador
- Urbano
- Complementario
- Especial

El servicio de Transmilenio transita por las vías troncales de la ciudad (Alrededor de 114 km) conectando las 143 estaciones y los 9 portales del sistema. Utiliza buses de tipo articulado (160 pasajeros) y biarticulado (250 pasajeros). El sistema alimentador transporta a los usuarios desde y hacia las zonas cercanas a los portales y estaciones del Sistema Transmilenio (2060 km de cobertura). Es operado con buses padrones (80 pasajeros) y en algunas ocasiones con busetas (50 pasajeros). El servicio urbano recorre las principales vías de la ciudad y conecta los paraderos de las rutas establecidas. Utiliza buses padrones, busetones (50 pasajeros), busetas y microbuses (19 pasajeros). El servicio complementario mueve pasajeros desde y hacia los puntos de acceso al servicio de Transmilenio, algunos portales y estaciones. Utiliza buses de 80 y 50 pasajeros. El servicio especial se usa en zonas periféricas de la ciudad, aquellas donde el sistema de transporte actual no llega, se realiza en microbuses de 19 pasajeros. Adicionalmente se cuenta con un sistema de estacionamiento para alrededor de 6059 bicicletas y un sistema de cable, Transmicable, con un recorrido de 3,3 km (Transmilenio S.A., 2021).

A partir de datos obtenidos por Transmilenio (Transmilenio, 2022), al año 2020 se estiman 12.831 buses en operación en la ciudad de Bogotá, de los cuales 2087 son articulados, 9150 son buses y busetas, y 1594 son microbuses. A continuación, el gráfico 2 presenta el histórico de tipología de buses

de la ciudad de Bogotá entre 2010 y 2020. El detalle de la información se presenta de manera discreteada en el anexo A2 – Bogotá.

**Gráfico 2**  
**Histórico de la flota de buses urbanos de Bogotá, 2010-2020**  
(En número de vehículos)



Fuente: Elaboración propia con base en Transmilenio (2022).

Los autobuses del sistema de transporte público urbano de la ciudad de Bogotá operan principalmente con combustible diésel y Gas Natural Vehicular (GNV), aunque el sistema cuenta con cerca de 820 unidades de motorización eléctrica e híbrida. Así mismo, mediante la Ley 105 de 1993 y sus modificaciones, se ha establecido que los buses del sistema de transporte público de la ciudad tienen una vida útil de 20 años (Congreso de Colombia, 1993). A continuación, el cuadro 4 presenta la participación tecnológica de la flota para el año 2020 y la vida útil establecida para cada tipología de vehículo.

**Cuadro 4**  
**Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de Bogotá**

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación	Vida útil (en años)
Microbús	Diésel	100	20
Buses y busetas	Diésel	88,9	20
	GNV	2,2	
	Híbrido	3,7	
	Eléctrico	5,3	
Articulados y biarticulados	Diésel	64,5	20
	GNV	35,5	

Fuente: Elaboración propia con base en (Transmilenio, 2022) & Congreso de Colombia (1993).

Adicionalmente, la flota de autobuses urbanos de Bogotá es caracterizada en función del estándar de emisiones que cumple. En el anexo A2, se presenta el detalle de la evolución de los estándares de emisión del país a lo largo del tiempo.

Finalmente, el análisis energético y de emisiones de la flota es realizado a partir del estimativo de la intensidad de uso (AVKT) y el rendimiento de combustible. Así, a partir de reportes de la Unidad de

Planeación Minero Energética (UPME, 2015), de la firma Grütter Consulting (Grütter, 2015), y de información brindada por Transmilenio S.A. se identifican los factores de operación de los autobuses urbanos de Bogotá, mostrados en el cuadro 5.

**Cuadro 5**  
Factores de operación de la flota de buses urbanos de Bogotá

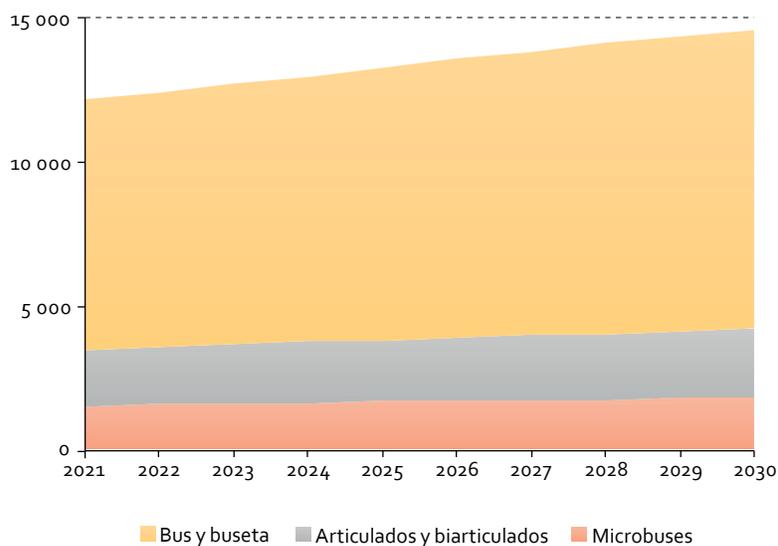
Tipo de bus	Tipo de combustible	AVKT (km/año)	Rendimiento de combustible (km/Lge)
Microbús	Diésel	45 000	7,34
Buses y busetas	Diésel	69 135	4,40
	GNV		5,93
	Híbrido		2,81
Articulados	Diésel	86 710	2,93
	GNV		7,67
	Eléctrico		4,00

Fuente: Elaboración propia con base en UPME (2015) & Grütter (2015).

## C. Proyecciones y escenarios 2030

A continuación, el gráfico 3 presenta la proyección de la cantidad de buses por tipología entre los años 2010-2030.

**Gráfico 3**  
Proyección de la flota de buses urbanos Bogotá, 2021-2030  
(En número de vehículos)



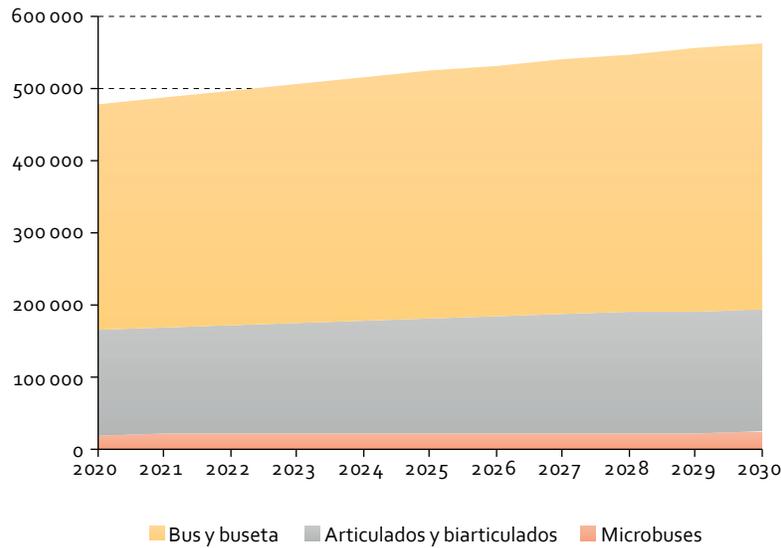
Fuente: Elaboración propia.

### 1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU

Para el escenario *Business As Usual* (BAU), se considera la misma participación tecnológica de autobuses operando en la ciudad de Bogotá (ver cuadro 4). Bajo esta premisa, el gráfico 4 y el gráfico 5 presentan el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2020 y 2030. De allí se evidencia que, la continuación del modelo actual podría generar

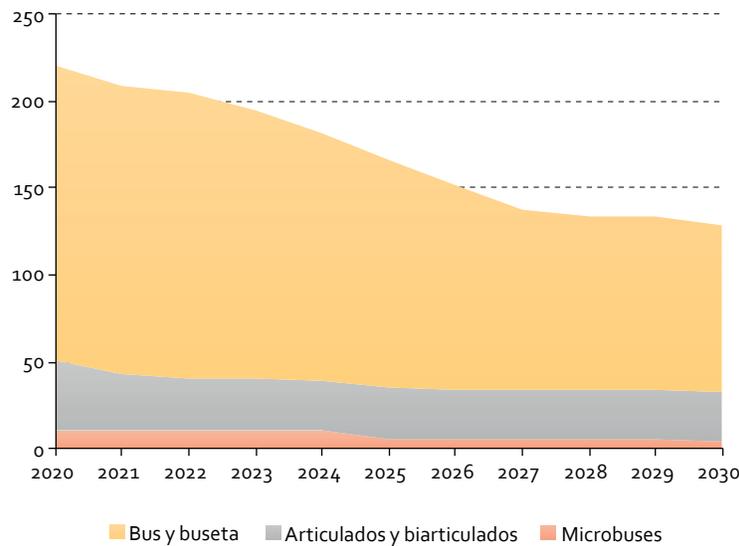
un aumento del 17,6% en las emisiones de CO<sub>2</sub> y una reducción del 4,2% en PM<sub>2,5</sub> al año 2030 respecto a lo emitido en el 2020.

**Gráfico 4**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá (BAU)**  
 (En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 5**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá (BAU)**  
 (En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad

Considerando que el Concejo de la Ciudad de Bogotá ha establecido la meta principal de que a partir del 01 de enero de 2022 todas las adquisiciones de la flota de transporte público no podrán estar soportadas

en el uso de combustibles fósiles (Concejo de Bogotá, 2018), se considera que todos los ingresos de vehículos a partir del año 2022 tendrán motorización eléctrica. Bajo esta premisa, se estima la participación tecnológica de los buses al año 2030, como se presenta en el cuadro 6.

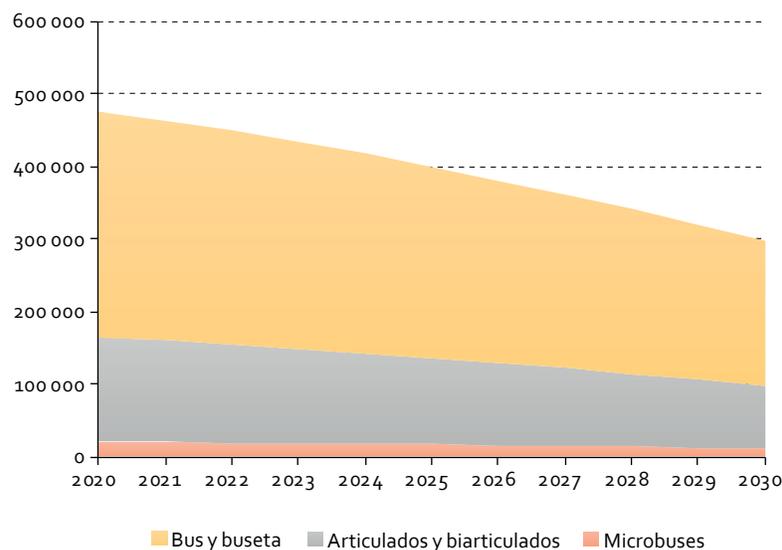
**Cuadro 6**  
Participación tecnológica de los buses de Bogotá – Escenario de electromovilidad

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Microbús	Diésel	48,0
	Eléctrico	52,0
Buses y busetas	Diesel	48,0
	GNV	0,5
	Hibrido	3,0
	Eléctrico	48,5
Articulados y biarticulados	Diésel	44,1
	GNV	8,6
	Eléctrico	47,3

Fuente: Elaboración propia.

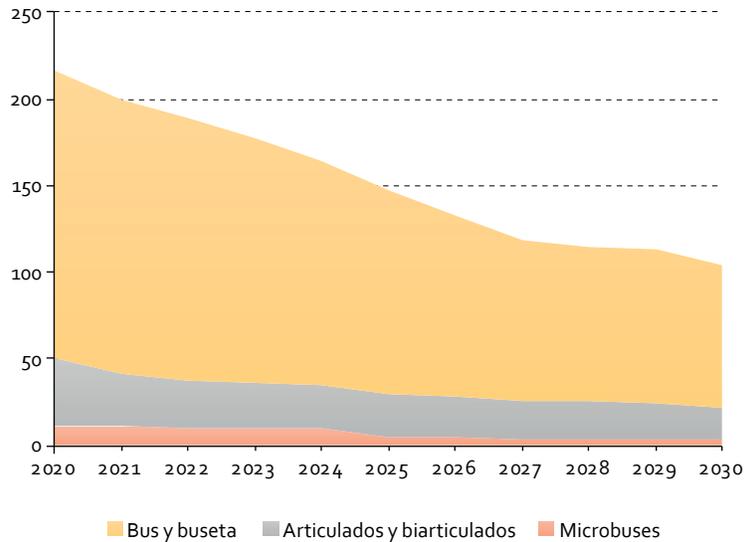
A partir de lo anterior, se presenta el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2020 y 2030, bajo el escenario de electromovilidad. De allí se puede observar que con la meta de electromovilidad es posible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> proyectadas al 2030 en un 47,1%, lo equivalente a dejar de emitir cerca de 264 ktCO<sub>2</sub>, respecto al escenario BAU. En lo referente a las emisiones de PM<sub>2,5</sub> se evidencia una posible reducción del 18%, equivalente a 24t respecto al escenario BAU. Finalmente, tanto para el escenario BAU como el de electromovilidad, se evidencia una mayor tendencia de reducción de emisiones de PM<sub>2,5</sub> entre 2023 y 2027. Esto está ligado principalmente a la entrada en operación del estándar Euro VI a partir del año 2023, el cual tiene límites de emisiones más estrictos para este contaminante.

**Gráfico 6**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá: programa de electromovilidad  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 7**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá: programa de electromovilidad**  
 (En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Análisis del cumplimiento de las NDCs

Colombia en su NDC se compromete a emitir como máximo 169,44 MtCO<sub>2e</sub>, lo cual corresponde a una reducción del 51% respecto a las emisiones proyectadas por el gobierno nacional a 2030 estimadas en 345,8 MtCO<sub>2e</sub>. Para la evaluación del cumplimiento de las NDC a partir de los programas de electromovilidad, se supone que este porcentaje de reducción es igual para todos los sectores productivos, es decir 51% de reducción de emisiones para el sector transporte.

En el escenario de electromovilidad de la ciudad de Bogotá, acotado para el transporte público de pasajeros por bus, se estima la emisión de 297 ktCO<sub>2</sub>/año a 2030, mientras que en el escenario BAU las emisiones son de 561 ktCO<sub>2</sub>/año. En este sentido, se identifica que la reducción de emisiones se encuentra alrededor de un 46%. Por esto, el programa de electromovilidad propuesto a nivel ciudad no sería suficiente para dar cumplimiento al compromiso nacional. Sin embargo, se identifica que la promoción de una mayor renovación de la flota de buses permitiría contar con un mayor ingreso de unidades eléctricas, aumentando su participación en la flota al 2030.

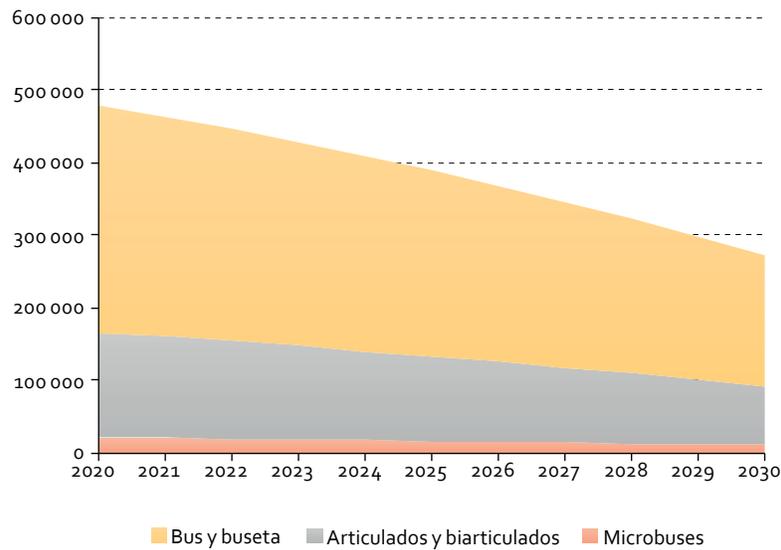
Por ejemplo, se identifica que acelerar el ascenso tecnológico de la flota conlleva a retirar de manera más rápida la flota de vehículos con motor de combustión y aumentar la participación de vehículos eléctricos a la flota. Así se estima que mediante la reducción de la edad límite de circulación en un año, es decir pasar de 20 a 19 años de vida útil, permitiría tener una mayor cantidad de buses eléctricos en la flota de la ciudad de Bogotá al 2030, como se muestra en el cuadro 7. Esto a su vez permitiría dar cumplimiento al compromiso nacional de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, puesto que se estima que al 2030 se llegarían a emitir cerca de 274 ktCO<sub>2</sub>, como se muestra en el gráfico 8 representando una reducción de un 51,2% respecto al escenario BAU.

**Cuadro 7**  
Participación tecnológica de los buses de Bogotá – Escenario de electromovilidad

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Microbús	Diésel	44,1
	Eléctrico	55,9
Buses y busetas	Diesel	43,6
	GNV	0,5
	Hibrido	3,0
	Eléctrico	52,9
Articulados y biarticulados	Diésel	42,3
	GNV	7,5
	Eléctrico	50,2

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 8**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Bogotá: cumplimiento de las NDCs  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

## II. Buenos Aires

En su NDC, la República Argentina se compromete a no exceder la emisión neta de 359 MtCO<sub>2e</sub> en el año 2030, meta aplicable a todos los sectores de la economía. Así mismo, se compromete en reducir en un 19% sus emisiones de CO<sub>2</sub> al 2030 respecto al máximo de emisiones alcanzado en el año 2007 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2020). Sin embargo, Argentina se encuentra rezagada con respecto al resto de la región en las iniciativas orientadas a la producción y difusión de vehículos eléctricos (EVs) (Baruj et al., 2021).

La principal medida que incentiva para la inclusión de autobuses eléctricos en Argentina es el Decreto 51 de enero de 2018 del Poder Ejecutivo Nacional, el cual determina una cuota de 350 autobuses eléctricos que pueden ser importados con una preferencia arancelaria por un período de 36 meses. Lo anterior, para que en el 2030 se cuente con una participación del 10% de buses eléctricos y del 30% para el 2050 (Papaioannou & Windisch, 2022).

### A. Parámetros socioeconómicos

De acuerdo con datos del Banco Mundial, se estima que en 2020 el PIB per cápita de Argentina fue de 8.579 USD/habitante (Banco Mundial (2022a)). Por otra parte, estimaciones indican que cerca del 19% del PIB del país se produce en la CABA (Banco de Desarrollo de América Latina, 2022). Teniendo en cuenta esta consideración, se estima que para el año 2020 el PIB per cápita de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) fue de 23.891 USD/habitante. A continuación, en el gráfico 9, se presenta el comportamiento y la proyección del PIB entre 2010 y 2030, obtenida a partir del anexo A1 – Modelos matemáticos.

**Gráfico 9**  
**PIB per cápita Buenos Aires, 2010-2030**  
 (En USD)



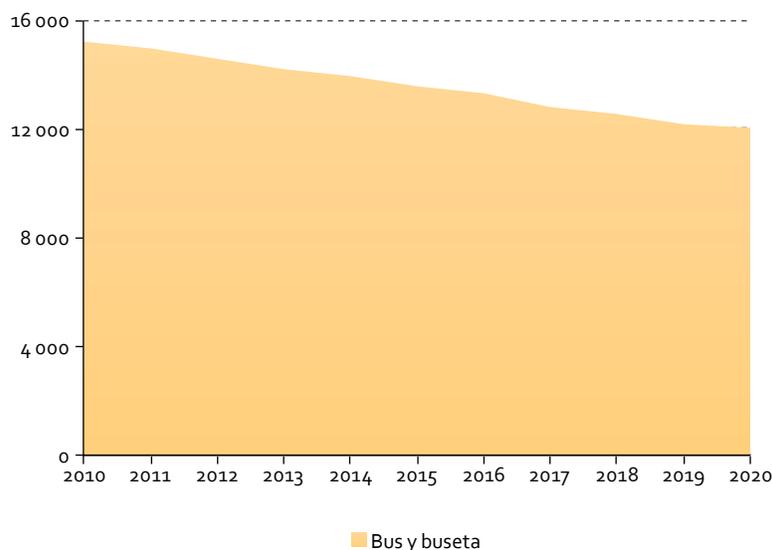
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a), (DANE, 2020) y proyecciones realizadas.

## B. Características de la flota de buses del transporte público

Los autobuses urbanos argentinos, conocidos como colectivos, son el sistema de transporte público más utilizado de la ciudad. La CABA cuenta con un sistema de transporte estructurado, que incluye trenes, subterráneos, una amplia red de colectivos y taxis. Desde el 31 de mayo de 2011 también funciona el Metrobús, un sistema de carriles exclusivos y paradores para buses, que comenzó con 21 paradas a lo largo de 12,5 kilómetros, actualmente cuenta con ocho corredores y 62,5 km de extensión. Metrobús es un sistema de carriles exclusivos para líneas de colectivos análogo a los sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*) implementado en otras ciudades latinoamericanas. Las principales características de este sistema de transporte son la circulación de líneas de colectivo por carriles exclusivos en el centro de la calle con paradas elevadas sobre la calzada y cada 400 metros aproximadamente. A diferencia de otros sistemas de BRT, las líneas de colectivos que componen el sistema de Metrobús no todas están compuestas en su totalidad por buses articulados, y no circulan únicamente por los carriles exclusivos, sino que los usan durante una porción de su recorrido. En la Ciudad, el uso de medios de transporte sostenibles ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años. La suma de los desplazamientos a pie, las bicicletas, los colectivos urbanos, el subte y los trenes equivale al 70% de los viajes (Programa Internacional de Cooperación Urbana, 2011; CABA, 2022).

Se desconoce la participación exacta de la flota de autobuses por tipología de vehículo. Por lo tanto, en el sistema de transporte público de la CABA a 2020 se considera una participación de 100% de buses y busetas, en línea con lo establecido por el ICCT (Dallman, Du & Minjares, 2017), y donde se estima que se encuentran en operación cerca de 12.029 vehículos (ADEFSA, 2020). A continuación, el gráfico 10 presenta el histórico de tipología de buses de la CABA entre 2010 y 2020.

**Gráfico 10**  
**Histórico de la flota de buses urbanos de Buenos Aires, 2010-2020**  
 (En número de vehículos)



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a).

Los autobuses del sistema de transporte público urbano de la CABA operan principalmente con combustible diésel (Miller & Braun , 2020). Así mismo, se ha establecido que los buses del sistema de transporte público de la ciudad tienen una vida útil de 30 años (Miller & Braun , 2020). A continuación, el cuadro 8 presenta la participación tecnológica de la flota y la vida útil establecida para cada tipología de vehículo.

**Cuadro 8**  
**Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de CABA**

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación	Vida útil (años)
Buses y busetas	Diésel	100	30

Fuente: Elaboración propia con base en Miller & Braun (2020).

Adicionalmente, la flota de autobuses urbanos de la CABA es caracterizada en función del estándar de emisiones que cumple. En el anexo A3 – Buenos Aires, se presenta el detalle de la evolución de los estándares de emisión del país a lo largo del tiempo. Finalmente, el análisis energético y de emisiones de la flota es realizado a partir del estimativo de la intensidad de uso (AVKT) y el rendimiento de combustible. Así, a partir de reportes del Ministerio de Transporte a través de la Dirección Nacional de Gestión Económica (Ministerio de Transporte de Argentina, 2018b), y de la Dirección General de Estadísticas y Censos de la Ciudad de Buenos Aires (Dirección General de Estadísticas y Censos, 2016), se identifican los factores de operación de los autobuses urbanos de la CABA, mostrados en el cuadro 9.

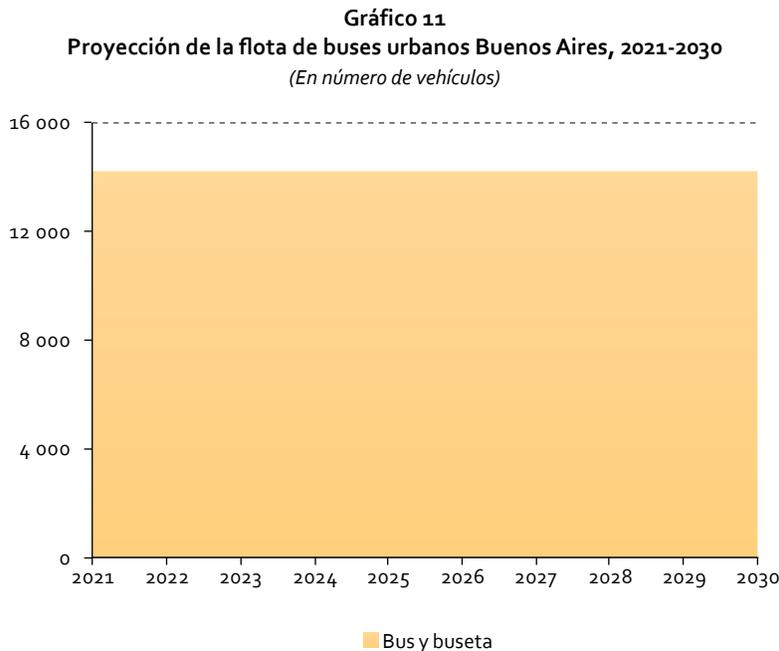
**Cuadro 9**  
**Factores de operación de la flota de buses urbanos de CABA**

Tipo de bus	Tipo de combustible	AVKT (km/año)	Rendimiento de combustible (km/Lge)
Buses y busetas	Diésel	51 179	1,79

Fuente: Elaboración propia a partir de Dirección General de Estadísticas y Censos (2016) & Ministerio de Transporte de Argentina (2018b).

## C. Proyecciones y escenarios 2030

A continuación, el gráfico 11 presenta la proyección de la cantidad de buses por tipología entre los años 2010-2030.

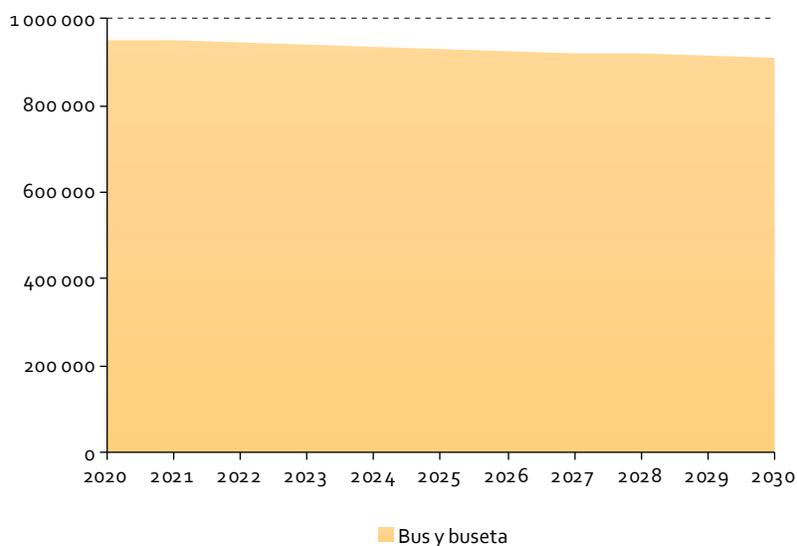


Fuente: Elaboración propia.

### 1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU

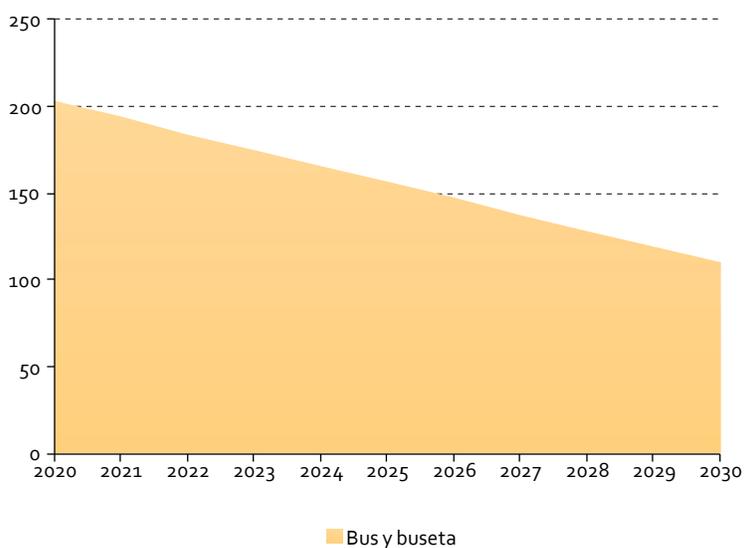
Para el escenario *Business As Usual* (BAU), se considera al 2030 la misma participación tecnológica de autobuses diésel y eléctricos operando en la CABA (ver cuadro 8). Bajo esta premisa, los gráfico 12 y gráfico 13, presentan el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2010 y 2020. Se evidencia una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2030, lo cual se debe la mejora en el rendimiento de los vehículos en la década analizada. En cuanto a las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, se evidencia una pronunciada reducción al año 2030 de 93 t (45,9%) debido a la entrada del estándar EURO VI en el año 2016, el cual tiene factores de emisión más estrictos que el estándar EURO IV.

**Gráfico 12**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires (BAU)**  
*(En tCO<sub>2</sub>/año)*



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 13**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires (BAU)**  
*(En tPM<sub>2,5</sub>/año)*



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad

El programa de electromovilidad de la CABA plantea que para el 2030 el 10% de los buses sean eléctricos. Por lo tanto, a partir de este escenario de electromovilidad propuesto para los sistemas de autobuses urbanos de la CABA, se identifica la participación tecnológica de los buses al año 2030, como se presenta en cuadro 10.

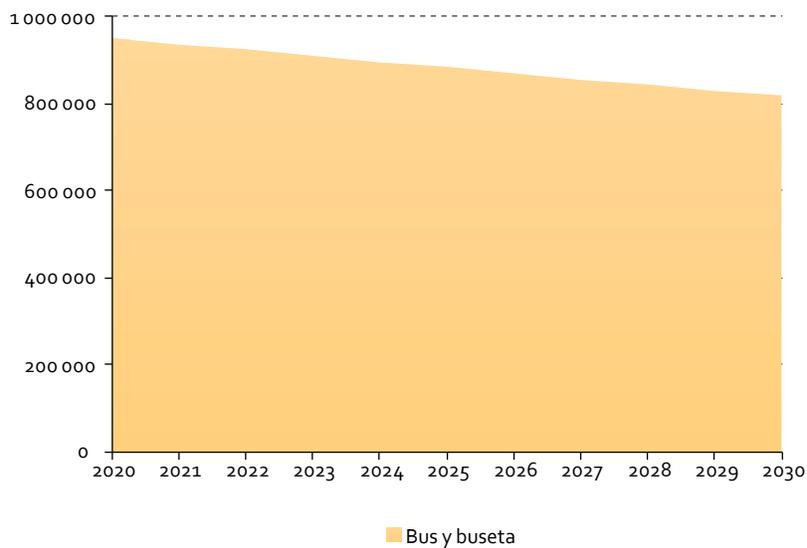
**Cuadro 10**  
Participación tecnológica de los buses de Bogotá – Escenario de electromovilidad

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Buses y busetas (9 y 12 m)	Diésel	90
	Electricidad	10

Fuente: Elaboración propia.

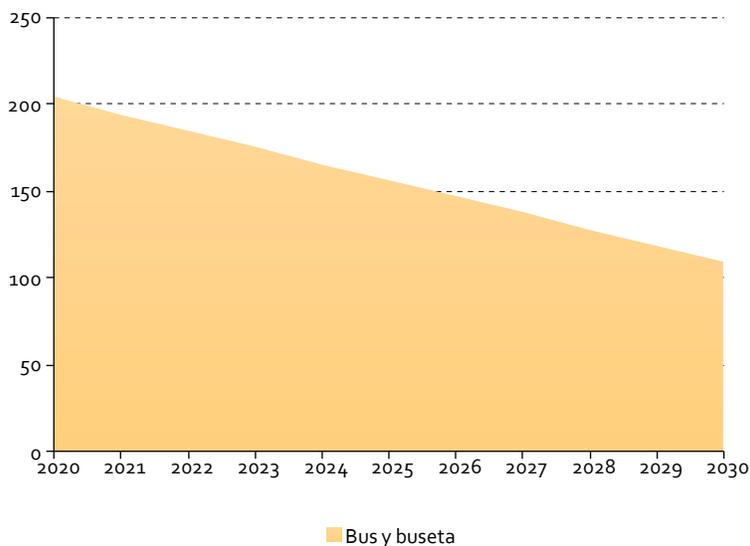
A partir de lo anterior, se presenta el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2010 y 2020. Con el programa de electromovilidad se evidencia una reducción del 10% de las emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2030 equivalente a 91 ktCO<sub>2</sub> dejadas de emitir en este año. Para las emisiones de PM<sub>2,5</sub> la reducción fue del 1,39%, equivalente a 1,52 toneladas dejadas de emitir al 2030 respecto al escenario BAU.

**Gráfico 14**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires: programa de electromovilidad  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 15**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Buenos Aires: programa de electromovilidad**  
(En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Análisis del cumplimiento de las NDCs

La Contribución Determinada en Argentina establece que el país no excederá la emisión neta de 359 MtCO<sub>2e</sub> a 2030, comprometiendo a todos los sectores de la economía. A partir del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Argentina (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina, 2017) se identifica que en el país se emitieron cerca de 368 MtCO<sub>2e</sub> en el año 2014. Por lo tanto, se infiere que, mediante la NDC, el país se compromete a reducir en un 2,4% las emisiones de CO<sub>2e</sub> entre 2014 y 2030.

Con base en lo anterior, para la evaluación del cumplimiento de las NDC a partir de los programas de electromovilidad se considera que el compromiso es proporcional para el sector transporte. Así, a partir de los datos históricos de operación de la flota de buses de transporte público urbano de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se estima que en 2014 se emitieron cerca de 938 ktCO<sub>2</sub>. Además, mediante las metas de electromovilidad propuestas en la ciudad se estima que las emisiones de este compuesto podrían alcanzar las 818 ktCO<sub>2</sub> para 2030, representando una reducción del 12,7%. Por lo tanto, se identifica que la estrategia propuesta permite cumplir y superar el compromiso adquirido mediante la NDC en la Argentina.



### III. Ciudad de México

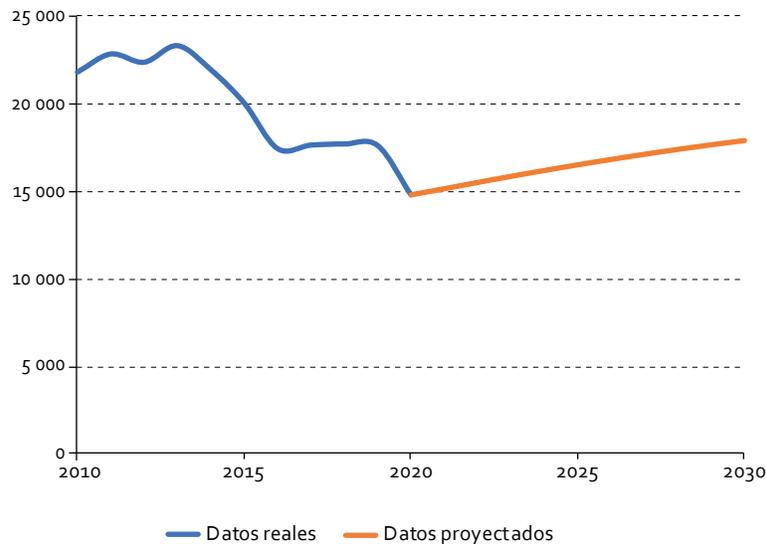
México, a través de sus NDCs, se compromete de manera no condicionada a reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 22% y las de carbono negro en un 51% al 2030 respecto a la línea BAU. El escenario tendencial proyectado al 2030, sin intervención de política de mitigación, se cuantificó en 991 MtCO<sub>2e</sub> como punto de referencia para 2030. La reducción de emisiones no condicionadas al 2030 se traduce en dejar de emitir aproximadamente 210 MtCO<sub>2e</sub>. Particularmente, en lo referente al sector transporte, bajo el escenario BAU, se proyectan unas emisiones equivalentes de 250 MtCO<sub>2e</sub>. Así, y de acuerdo con lo propuesto por el gobierno Nacional, se proyectará el cumplimiento de las NDCs nacionales, considerando una reducción de las emisiones de GEI equivalentes a un 22% respecto al escenario BAU al 2030 (Gobierno de México, 2020). La visión a largo plazo de la estrategia de electromovilidad plantea que la Ciudad de México (CDMX) alcance una movilidad cero emisiones, basadas en la electricidad como principal fuente de energía, generada a partir de fuentes renovables. Para ello, plantea como meta que el 20% de la flota de transporte público colectivo sea eléctrica en el 2030 (CFF & Carbon Trust México, 2018).

#### A. Parámetros socioeconómicos

De acuerdo con datos del Banco Mundial, se estima que en 2020 el PIB per cápita de México fue de 8.329 USD/habitante (Banco Mundial (2022a)). Así mismo, a partir de información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), se estima que para el año 2020 el PIB per cápita de la CDMX fue de 14.852 USD/habitante (INEGI, 2021a; 2021b).

A continuación, el gráfico 16 presenta el comportamiento y la proyección del PIB per cápita entre 2010 y 2030, obtenida a partir del anexo A1 – Modelos matemáticos.

**Gráfico 16**  
**PIB per cápita ciudad de México, 2010-2030**  
*(PIB per cápita en USD)*



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a), INEGI (2021a, 2021b) y proyecciones realizadas.

## B. Características de la flota de buses del transporte público

El transporte público de la CDMX tiene varios modos de operación:

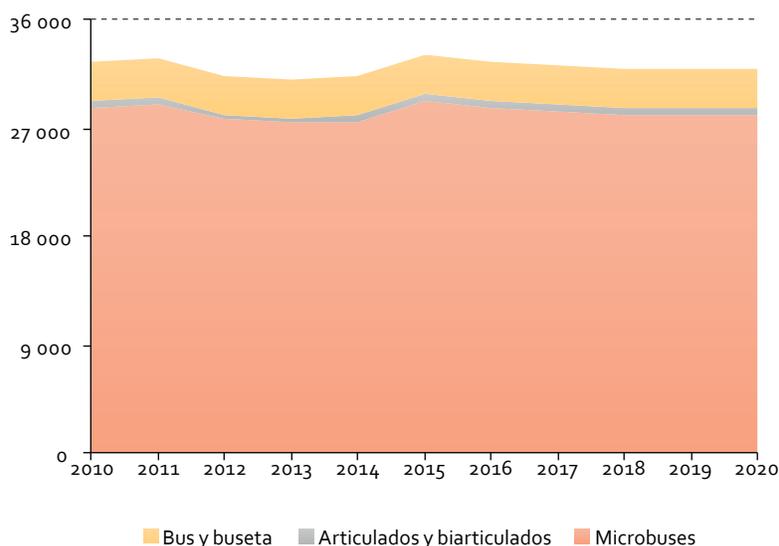
- Trolebús
- Metro
- Metrobús
- Tren Ligero
- Red de Transporte de Pasajeros (RTP)
- Ecobici
- Microbús
- Combis

El trolebús cuenta con 8 líneas y una flota de 360 troles que operan en toda la ciudad. El metro de la ciudad de México se inauguró en 1969, cuenta actualmente con cerca de 200 estaciones y 12 líneas, es el sistema más usado, alrededor de 4,6 millones de usuarios al día. El metrobús es un BRT (Bus rapid transit) cuenta con 7 líneas. El tren ligero hace parte de la red de Servicio de Transportes Eléctricos de la CDMX, y cuenta con 16 estaciones y 2 terminales. Usa 20 trenes dobles acoplados con doble cabina de mando y una capacidad máxima de 374 pasajeros. La RTP cuenta con 103 rutas de autobuses. La Ecobici es un sistema de bicicletas públicas que cuenta con 480 ciclo estaciones, 6.800 bicicletas, de las cuales 340 son eléctricas de pedaleo asistido. Los microbuses y combis continúan siendo la forma de moverse de millones de habitantes de CDMX, cuentan con aproximadamente 2.300 rutas (Movimentistas, 2020).

Para el estudio, se cuenta con información de la cantidad de vehículos de la flota y de la cantidad de buses, busetas, articulados y biarticulados, por lo tanto, la cantidad restante se asume como microbuses. En este sentido, al año 2020 se estima que se encuentran en operación 3.207 buses y busetas, 498 buses articulados y 28.207 microbuses (INEGI, 2020; Huertas et al., 2021). A continuación, el gráfico 17 presenta

el histórico de tipología de buses de CDMX entre 2010 y 2020. El detalle de la información se presenta de manera discreta en el anexo A4 – Ciudad de México.

**Gráfico 17**  
**Histórico de la flota de buses urbanos CDMX, 2010-2020**  
(En número de vehículos)



Fuente: Elaboración propia con base en Movimentistas (2020), INEGI (2020), Huertas et al. (2021) y Banco Mundial (2022a).

Los autobuses del transporte público de la CDMX presentan una gran variedad en los combustibles que emplea, según la categoría de vehículos, los automotores operan actualmente con diésel, gasolina, electricidad y GLP.

Los microbuses del transporte público urbano de CDMX operan principalmente con combustibles diésel y electricidad. La participación tecnológica de los microbuses es obtenida a partir de información del transporte concesionado y no concesionado de la ciudad. Así mismo, se ha establecido que los buses del sistema de transporte público de la ciudad tienen una vida útil de 10 años (Gobierno de la Ciudad de México, 2020). A continuación, el cuadro 11 presenta la participación tecnológica de la flota y la vida útil establecida para cada tipología de vehículo.

**Cuadro 11**  
**Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de CDMX**

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación	Vida útil (años)
Microbuses	Diésel	3,1	10
	Gasolina	37,3	
	GLP	59,6	
Buses y busetas	Diésel	99,8	10
	Híbrido	0,2	
Articulados	Diésel	99,9	10

Fuente: CFF & Carbon Trust México (2018) & Gobierno de la Ciudad de México (2020).

Adicionalmente, la flota de autobuses urbanos de CDMX es caracterizada en función del estándar de emisiones que cumple. Así, se identifica que a partir del año 2021 todos los vehículos pesados deben

cumplir con el estándar de emisiones Euro VI (Yang & He, 2018). En el anexo A4 – Ciudad de México, se presenta el detalle de la evolución de los estándares de emisión del país a lo largo del tiempo.

Finalmente, el análisis energético y de emisiones de la flota es realizada a partir del estimativo de la intensidad de uso (AVKT) y el rendimiento de combustible. Así, a partir de reportes del INEGI (INEGI, 2022) y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Gobierno de México, 2018), se identifican los factores de operación de los autobuses urbanos de CDMX, mostrados en el cuadro 12.

**Cuadro 12**  
**Factores de operación de la flota de buses urbanos de CDMX**

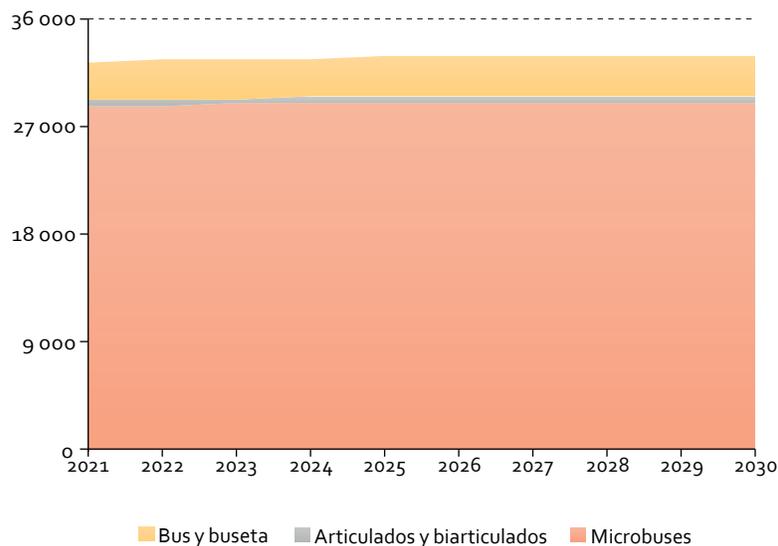
Tipo de bus	Tipo de combustible	AVKT (km/año)	Rendimiento de combustible (km/Lge)
Microbús	Diésel	73 590	3,34
	GLP		9,77
	Gasolina		2,77
Buses y busetas	Diésel	73 590	2,56
	Electricidad		15,89
Articulados	Diésel	56 844	1,68

Fuente: Elaboración propia con base en UPME (2015), Gobierno de México (2018), OCDE (2019), INEGI (2022).

## C. Proyecciones y escenarios 2030

A continuación, el gráfico 18 presenta la proyección de la cantidad de buses por tipología entre los años 2021-2030.

**Gráfico 18**  
**Proyección de la flota de buses urbanos, 2021-2030**  
(En número de vehículos)



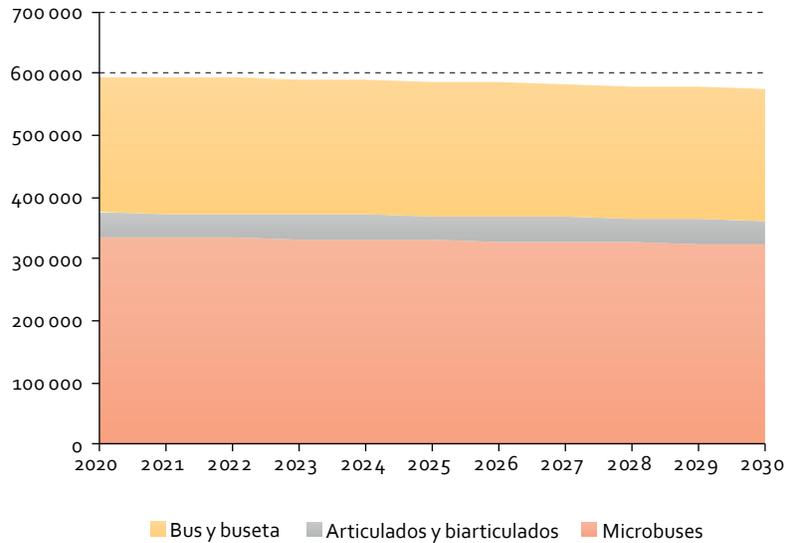
Fuente: Elaboración propia con base en UPME (2015), Gobierno de México (2018), OCDE (2019), INEGI (2022).

### 1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU

Para el escenario *Business As Usual* (BAU), se considera exactamente la misma participación tecnológica de autobuses diésel y eléctricos operados en CDMX (ver cuadro 11). Bajo esta premisa, el gráfico 19 y

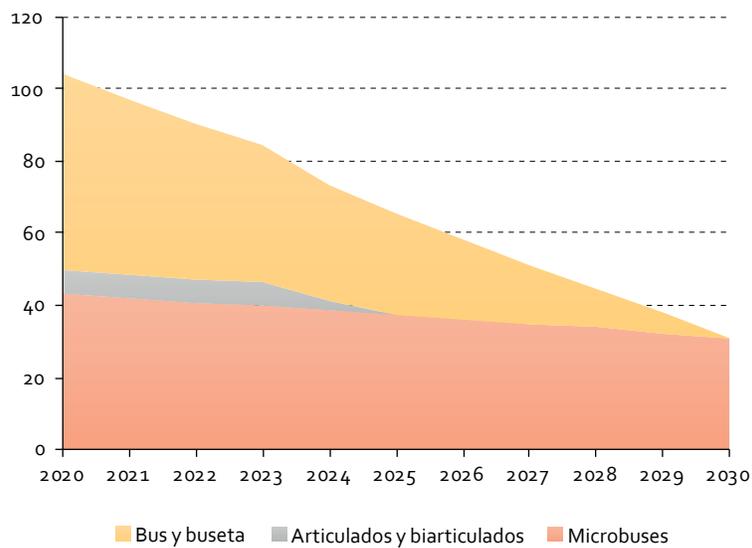
el gráfico 20 presentan el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2020 y 2030. De allí se observa una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al 2030 del 3,5%, la cual puede estar asociada al aumento del rendimiento de combustible producto de la mejora tecnológica de la flota de autobuses. Así mismo, se evidencia una reducción importante en las emisiones de PM<sub>2,5</sub> debido a la entrada del estándar Euro VI en el año 2021.

**Gráfico 19**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX (BAU)**  
*(En tCO<sub>2</sub>/año)*



Fuente: Elaboración propia con base en UPME (2015), Gobierno de México (2018), OCDE (2019), INEGI (2022).

**Gráfico 20**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX (BAU)**  
*(En tPM<sub>2,5</sub>/año)*



Fuente: Elaboración propia con base en UPME (2015), Gobierno de México (2018), OCDE (2019), INEGI (2022).

## 2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad

De acuerdo con la estrategia de electromovilidad de la CDMX (CFF & Carbon Trust México, 2018), la ciudad plantea como meta que el 20% de su flota de transporte público sea eléctrica al 2030. Para ello propone las siguientes líneas de acción:

- Promover que 30% de la flota de Metrobús sea eléctrica al 2030.
- El 15% de los autobuses de SM1 (RTP) son eléctricos al 2030.
- Sustituir el 18% de autobuses de pasajeros con tecnologías diésel menor a Euro VI que salgan de circulación por autobuses híbridos o eléctricos bajo el sistema de transporte público colectivo concesionado.

Para ello, y dado que no se identifica si con las líneas de acción se puede dar cumplimiento a las metas de la ciudad, se evalúan dos alternativas de electromovilidad por separado: meta de electromovilidad y las líneas de acción.

Así, a partir de estos escenarios de electromovilidad, se identifica la participación tecnológica de los buses al año 2030, como se presenta en el cuadro 13.

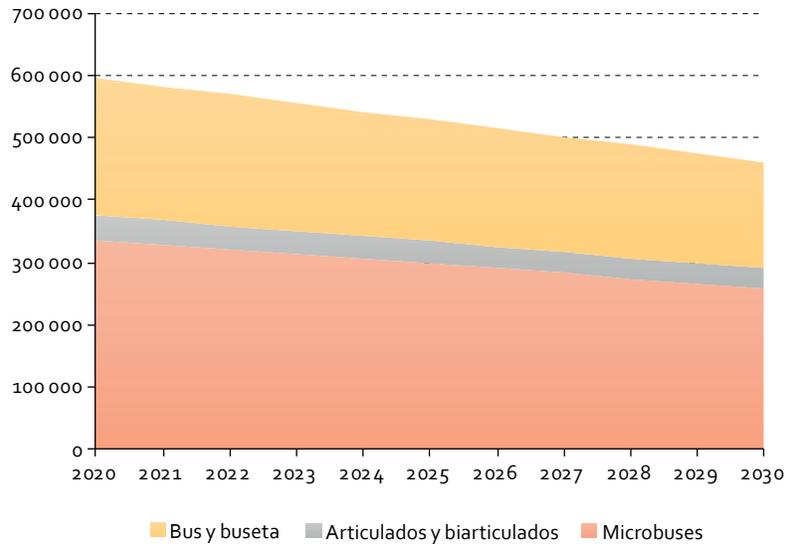
**Cuadro 13**  
**Participación tecnológica de los buses de CDMX – Escenarios de electromovilidad**

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación	
		Meta	Líneas de acción
Microbuses	Diesel	2,5	3,1
	Gasolina	29,8	37,3
	GLP	47,7	59,6
	Eléctrico	20,0	0,0
Buses y busetas	Diésel	79,8	29,8
	Híbrido	0,2	0,2
	Eléctrico	20,0	70,0
Articulados y biarticulados	Diésel	80,0	70,0
	Eléctrico	20,0	30,0

Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

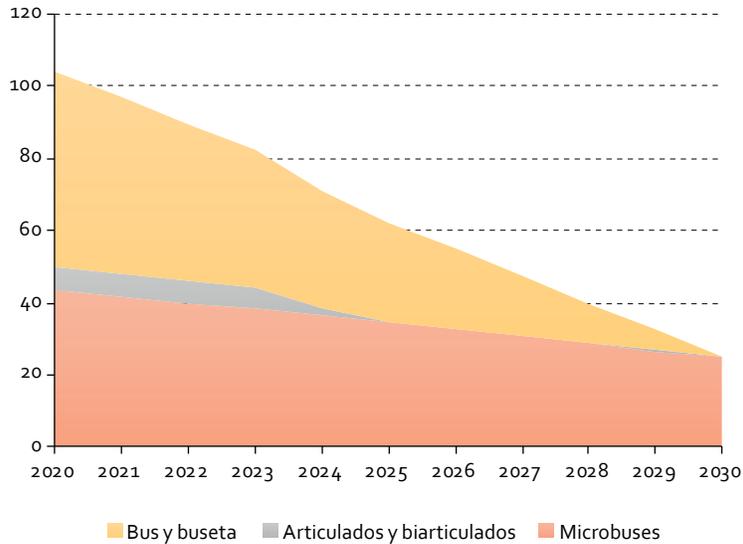
A partir de lo anterior, el gráfico 21, gráfico 22, gráfico 23 y gráfico 24 presentan el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2020 y 2030 considerando las metas de electromovilidad de la CDMX.

**Gráfico 21**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: meta de electromovilidad**  
*(En tCO<sub>2</sub>/año)*



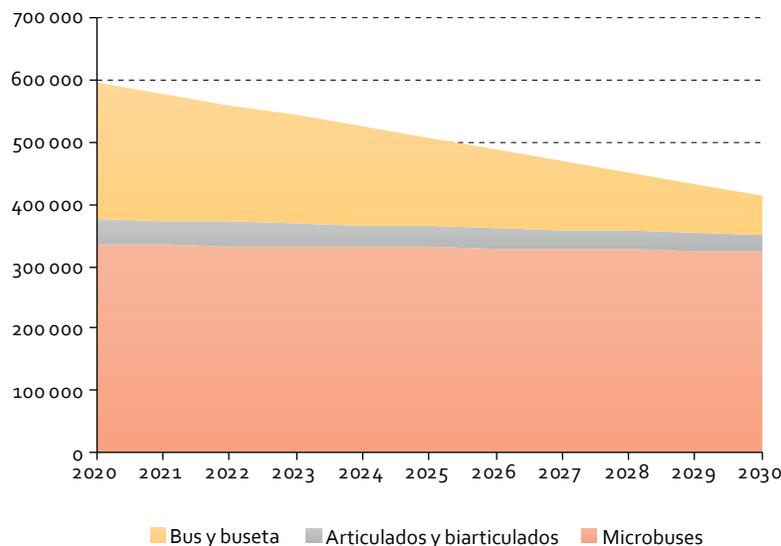
Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

**Gráfico 22**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: meta de electromovilidad**  
*(En tPM<sub>2,5</sub>/año)*



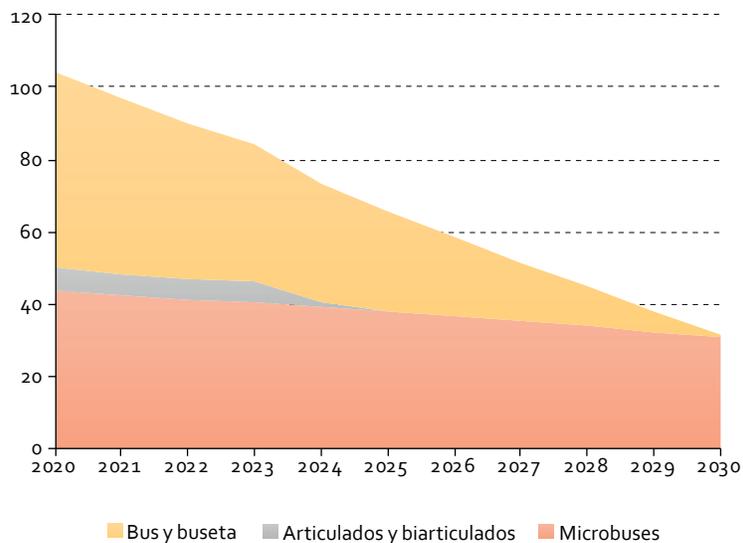
Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

**Gráfico 23**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: líneas de acción  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

**Gráfico 24**  
Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: líneas de acción  
(En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

De las anteriores gráficos, se destaca que:

- Con la meta de electromovilidad es posible reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en cerca de un 20%, respecto al escenario BAU, lo que equivale a dejar de emitir 115 ktCO<sub>2</sub> al 2030.
- Con las Líneas de acción, es posible alcanzar una reducción de aproximadamente un 28% en las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al escenario BAU, equivalente a dejar de emitir 181 ktCO<sub>2</sub> al 2030.

- A pesar de que las reducciones de CO<sub>2</sub> son mayores en el escenario Líneas de acción, los beneficios en términos de emisión de PM<sub>2,5</sub> son mejores para la meta de electromovilidad. Esto se debe a que los microbuses son los principales emisores de este compuesto en la CDMX, y son incluidos en las metas de electromovilidad de la ciudad.

### 3. Análisis del cumplimiento de las NDCs

México en sus NDC se compromete con reducir las emisiones de GEI en un 22% de manera no condicionada y de 36% de manera condicionada al 2030, lo anterior respecto a proyecciones de no mitigación, es decir, respecto a un escenario BAU. En ese sentido, sin intervención de políticas de mitigación, el gobierno de México estima que en el 2030 se emitirían alrededor de 991 MtCO<sub>2e</sub>, por lo que los compromisos de reducción de emisiones de manera no condicionada y condicionada se traducen dejar de emitir cerca de 210 MtCO<sub>2e</sub> y 350 MtCO<sub>2e</sub> respectivamente.

Para la evaluación del cumplimiento de las NDC a partir de los programas de electromovilidad se considera que el compromiso es igual para todos los sectores de la economía. Donde, según las proyecciones realizadas en este estudio, en CDMX el sector transporte público de buses en el escenario BAU emite alrededor de 574 ktCO<sub>2</sub>/año, y considerando las metas de electromovilidad propuestas en la ciudad para 2030 se estima la emisión de 459 ktCO<sub>2</sub>, lo cual representa una reducción de alrededor del 20%. Además, se identifica que si la ciudad sigue el escenario "Líneas de acción" las emisiones del sector transporte público de buses sería del 414 ktCO<sub>2</sub> para el 2030, representando una reducción de alrededor de un 28%.

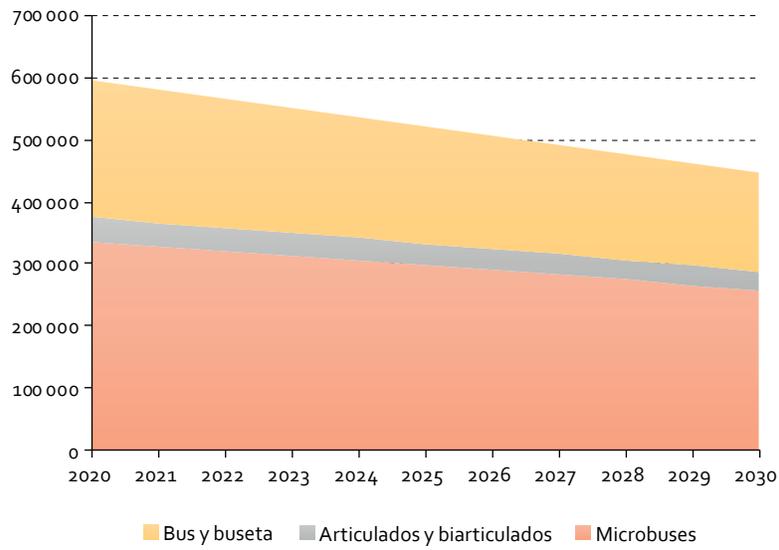
Lo anterior, permite identificar que a través de las 'Líneas de acción', se podrían alcanzar y cumplir los compromisos nacionales de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la 'Meta de electromovilidad' no sería lo suficientemente ambiciosa para dar cumplimiento a la NDC, por lo que se debería aumentar la participación de los vehículos eléctricos, principalmente en las categorías 'Bus y buseta' y 'Articulador y biarticulados' a, por lo menos un 25% al 2030, como se muestra en el cuadro 14. Así, las emisiones de CO<sub>2</sub> podrían alcanzar las 447.322 toneladas en el 2030 (ver gráfico 25), representando una reducción del 22,1% respecto al escenario BAU.

**Cuadro 14**  
Participación tecnológica de los buses de CDMX – Cumplimiento NDC

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Microbús	Diésel	2,5
	Gasolina	29,8
	GLP	47,7
	Eléctrico	20,0
Buses y busetas	Diesel	74,8
	GNV	0,0
	Hibrido	0,20
	Eléctrico	25,0
Articulados y biarticulados	Diésel	75,0
	Eléctrico	25,0

Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

**Gráfico 25**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – CDMX: cumplimiento de las NDCs**  
*(En tCO<sub>2</sub>/año)*



Fuente: Elaboración propia con base en CFF & Carbon Trust México (2018).

## IV. Santiago de Chile

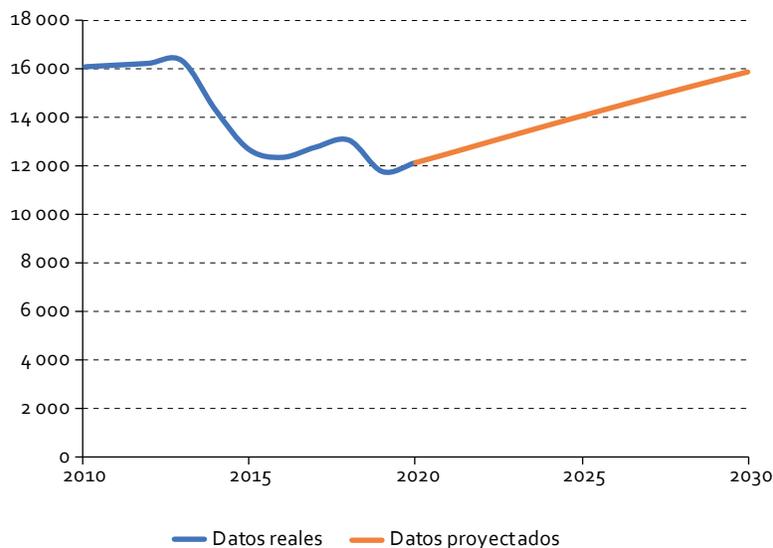
El Gobierno de Chile en su NDC se compromete a establecer un presupuesto de emisiones de GEI que no superará las 1.100 MtCO<sub>2e</sub>, entre el 2020 y 2030, donde se prevé que exista un pico máximo de emisiones de GEI al 2025, y se alcance un nivel de emisiones de GEI de 95 MtCO<sub>2e</sub> al 2030. Particularmente, respecto al sector transporte se compromete a adoptar medidas de electrificación para vehículos privados, vehículos comerciales, taxis y autobuses eléctricos para lograr la neutralidad de GEI, proyectando así una reducción de emisiones de 10,2 MtCO<sub>2e</sub> para este sector. En general, al 2030, el gobierno se compromete a reducir en un 30% las emisiones de CO<sub>2e</sub> respecto a las emisiones generadas en el año 2016. Esta misma meta será adoptada para evaluar el cumplimiento de las NDCs en el transporte público urbano de la ciudad de Santiago (Gobierno de Chile, 2020).

Entre las estrategias de mitigación de las emisiones, el gobierno de Chile traza un objetivo importante en el sector del transporte público por carretera, donde se espera que el 20% de los buses en el área metropolitana serán eléctricos para el 2030 (Palma Behnke et al., 2019).

### A. Parámetros socioeconómicos

De acuerdo con datos del Banco Mundial, se estima que en 2020 el PIB per cápita de Chile fue de 15.199 USD/habitante (Banco Mundial (2022a)). Adicionalmente, estimaciones indican que cerca del 30,2% del PIB se produce en la ciudad de Santiago (Banco Central de Chile, 2020). Así, se estima que al 2020, el PIB per cápita de Santiago de Chile fue de 12.185 USD/habitante. A continuación, el gráfico 26 presenta el comportamiento y la proyección del PIB entre 2010 y 2030, obtenida a partir del anexo A1 – Modelos matemáticos.

**Gráfico 26**  
**PIB per cápita Santiago de Chile, 2010-2030**  
*(PIB per cápita en USD)*



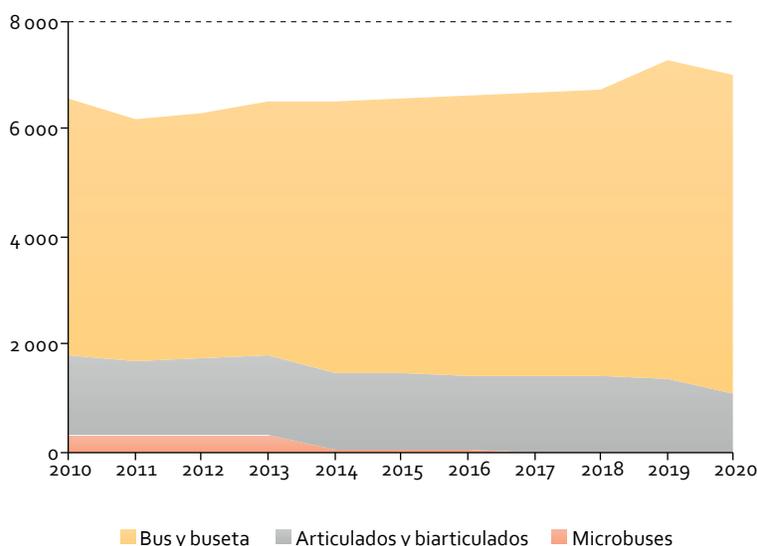
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Central de Chile (2020), Banco Mundial (2022a) y proyecciones realizadas.

## B. Características de la flota de buses del transporte público

A partir del año 2007, el Sistema de Transporte Público de la ciudad de Santiago integra física y tarifariamente a la totalidad de los buses de transporte público urbano de la ciudad, operados por empresas privadas, al Metro de Santiago, y al sistema MetroTren Nos, a través de un único medio de acceso electrónico. Los buses inscritos en el Registro de la Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones (SEREMITT) para operar en el Sistema, conforman una oferta de 697.270 plazas. La oferta de cada concesionario de transporte se define a través de los programas de operación de cada servicio. En ellos se indica el trazado, las paradas asignadas, las salidas por período, entre otras características operacionales, determinándose a partir de ellas los kilómetros totales que deben recorrer los buses (DTP, 2018).

Al año 2020, se estima se tenían en operación 6.981 buses, de los cuales 1.103 son articulados, 5.878 son buses de 12 y 9 m (DTP, 2021). A continuación, el gráfico 27 presenta el histórico de tipología de buses de la ciudad de Santiago entre 2010 y 2020.

**Gráfico 27**  
**Histórico de la flota de buses urbanos de Santiago de Chile, 2010-2020**  
*(En número de vehículos)*



Fuente: Elaboración propia con base en DTP (2021) & INE (2022).

Los autobuses del sistema de transporte público urbano de la ciudad de Santiago de Chile operan principalmente con combustible diésel y electricidad. Así mismo, se ha establecido que los buses del sistema de transporte público de la ciudad que operan con motor diésel tienen una vida útil de 10 años, mientras que aquellos que operan con motores eléctricos tendrán una vida útil de hasta 14 años de uso (DTP & Transantiago Se Renueva, 2017). A continuación, el cuadro 15 presenta la participación tecnológica de la flota para el año 2020 y la vida útil establecida para cada tipología de vehículo.

**Cuadro 15**  
**Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de Santiago**

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación	Vida útil (años)
Buses y busetas (9 y 12 m)	Diésel	84,9	10
	Electricidad	15,1	14
Articulados	Diésel	99,9	10
	Electricidad	0,1	14

Fuente: Elaboración propia con base en DTP & Transantiago Se Renueva (2017).

Adicionalmente, la flota de autobuses urbanos de la ciudad de Santiago es caracterizada en función del estándar de emisiones que cumple. Así, se identifica que a partir del año 2016 todos los vehículos nuevos, de la categoría autobuses, que ingresan al mercado automotor de Chile, deben cumplir con el estándar de emisiones Euro VI (DTP & Transantiago Se Renueva, 2017). En el anexo A5 – Santiago, se presenta el detalle de la evolución de los estándares de emisión del país a lo largo del tiempo. Se destaca que Chile es uno de los países que más ha avanzado en regulación de emisiones en la región de Latinoamérica y el Caribe, y que fue una de las primeras naciones a nivel regional en promover el uso de combustibles más limpios y estándares de emisiones más rigurosos en el transporte público urbano.

Finalmente, el análisis energético y de emisiones de la flota es realizada a partir del estimativo de la intensidad de uso (AVKT) y el rendimiento de combustible. Así, a partir de información del Centro Mario Molina de Chile y del Directorio de Transporte Público Metropolitano de Santiago (DTP, 2021) se identifican los factores de operación de los autobuses urbanos de la ciudad de Santiago de Chile, mostrados en el cuadro 16.

**Cuadro 16**  
Factores de operación de la flota de buses urbanos de Santiago de Chile

Tipo de bus	Tipo de combustible	AVKT (km/año) <sup>a</sup>	Rendimiento de combustible (km/lge)
Microbús	Diésel	48 975	3,34
	Electricidad	48 975	7,17
Buses y busetas (9 y 12 m)	Diésel	48 975	1,36
	Electricidad	48 975	5,52
Articulados	Diésel	48 975	0,97
	Electricidad	48 975	3,33

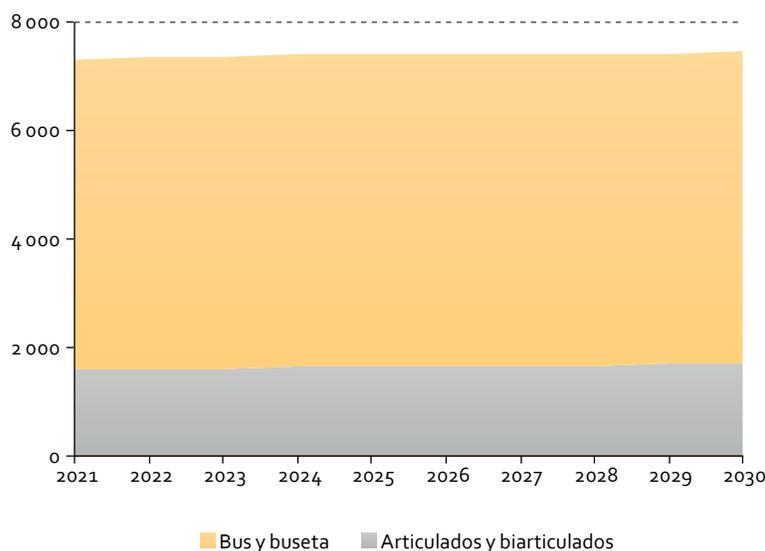
Fuente: Elaboración propia con base en DTP & Transantiago Se Renueva (2017) & DTP (2021).

<sup>a</sup> El reporte del Directorio de Transporte Público Metropolitano de Santiago (DTP, 2021), presenta una intensidad de uso promedio para todas las categorías de buses, por lo que se considera una intensidad de uso igual para todas las tipologías de buses.

## C. Proyecciones y escenarios 2030

A continuación, el gráfico 28 presenta la proyección de la cantidad de buses por tipología entre los años 2021-2030.

**Gráfico 28**  
Cantidad de buses Santiago de Chile, 2021-2030  
(En número de vehículos)

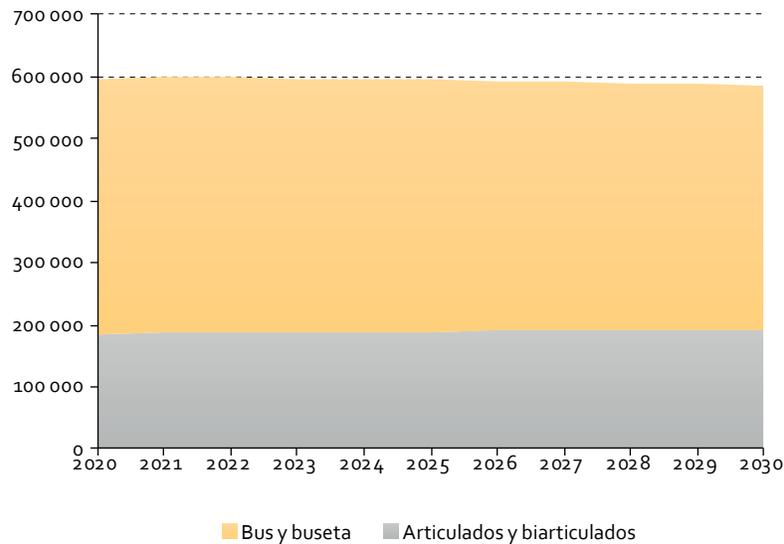


Fuente: Elaboración propia con base en DTP & Transantiago Se Renueva (2017) y DTP (2021).

### 1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU

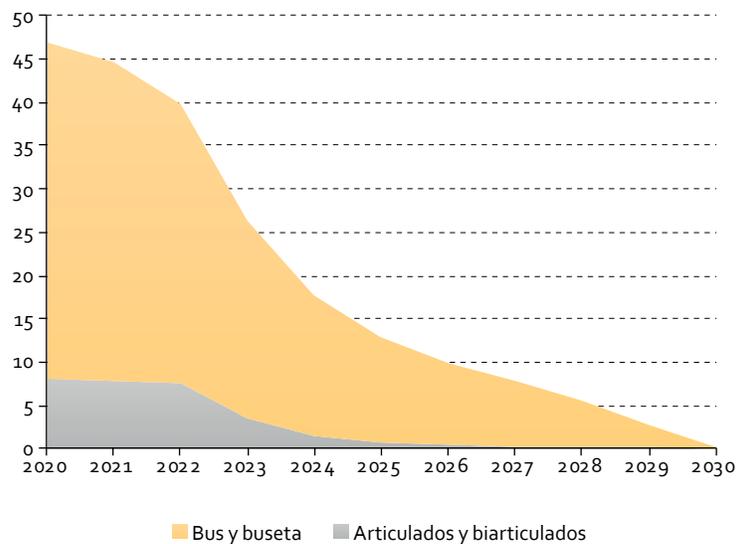
Para el escenario BAU, se considera exactamente la misma participación tecnológica de autobuses diésel y eléctricos operando en la ciudad de Santiago. Es decir, en el año 2030, se considera la participación tecnológica mostrada en el cuadro 15. Bajo esta premisa, el gráfico 19 y el gráfico 20 presentan el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2010 y 2020. De allí se observa una reducción de 9.230 tCO<sub>2</sub> (1,6%) al año 2030 debido a la mejora en la eficiencia de los vehículos a lo largo de los años. Adicionalmente, se evidencia una pendiente descendente pronunciada desde el año 2022 para las emisiones de PM<sub>2,5</sub> esto es debido a la entrada del estándar EURO V y EURO VI en el año 2012 y 2016 respectivamente.

**Gráfico 29**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago (BAU)**  
 (En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en DTP & Transantiago Se Renueva (2017), DTP (2021), EURO V (2012), & EURO VI (2016).

**Gráfico 30**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago (BAU)**  
 (En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en DTP & Transantiago Se Renueva (2017), DTP (2021), EURO V (2012), & EURO VI (2016).

## 2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad

El gobierno de Santiago de Chile plantea como meta que el 20% de los buses en el área metropolitana sean eléctricos a 2050 (Palma Behnke et al., 2019), y que el 100% de las ventas de transporte público (buses, taxis, colectivos) serán cero emisiones para el 2035 (Gobierno de Chile, 2022). En este sentido, se evalúa que el 100% de los ingresos serán eléctricos entre 2023 y 2030.

A partir de los programas de electromovilidad propuestos para los sistemas de autobuses urbanos de la ciudad de Santiago, se identifica la participación tecnológica de los buses al año 2030, como se presenta en el cuadro 17.

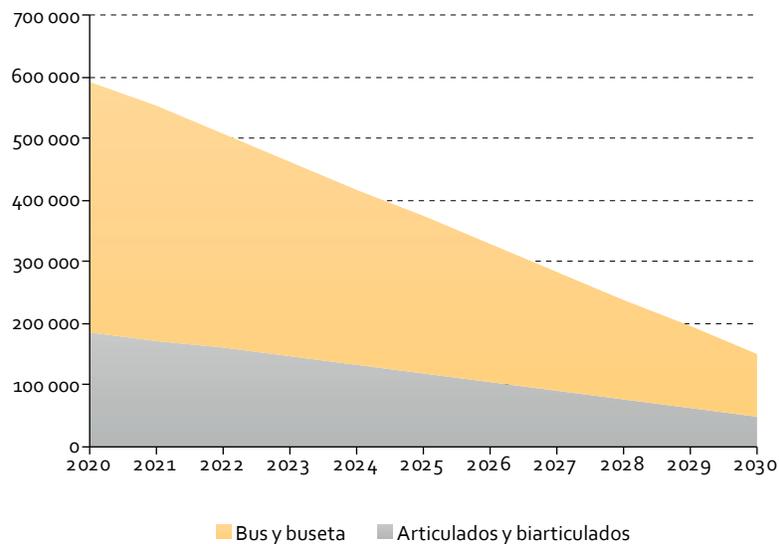
**Cuadro 17**  
Participación tecnológica de los buses de Santiago – Escenarios de electromovilidad

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Buses y busetas (9 y 12 m)	Diésel	22
	Electricidad	78
Articulados	Diésel	26
	Electricidad	74

Fuente: Elaboración propia con base en DTP (2021), Palma Behnke et al. (2019), y Gobierno de Chile (2022).

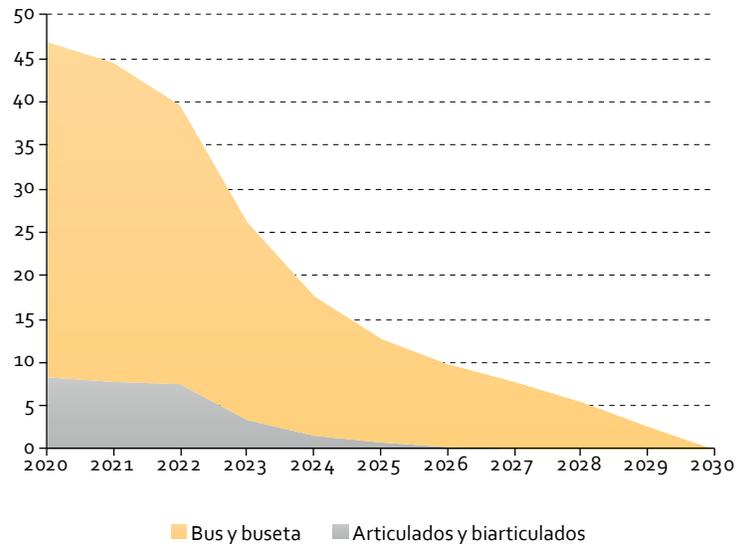
A partir de lo anterior, se presenta el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2010 y 2020. Donde, se evidencia una reducción del 74% de las emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2030, respecto al escenario BAU, equivalente a 433 ktCO<sub>2</sub> dejadas de emitir. En cuanto a las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, la reducción alcanzada respecto al BAU fue del 73% equivalente a 0,238 t dejadas de emitir.

**Gráfico 31**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago: programa de electromovilidad  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en DTP (2021), Palma Behnke et al. (2019), y Gobierno de Chile (2022).

**Gráfico 32**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – Santiago: programa de electromovilidad**  
 (En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en DTP (2021), Palma Behnke et al. (2019), y Gobierno de Chile (2022).

### 3. Análisis del cumplimiento de las NDCs

La NDC de Chile establece el compromiso de alcanzar un nivel de emisiones de GEI de 95 MtCO<sub>2e</sub> al 2030, lo cual es equivalente a obtener una reducción del 30% respecto a lo emitido en el año 2016. Adicionalmente, establece que, bajo ciertas condiciones financieras, tecnológicas, económicas y de mercado, al 2030 el gobierno apunta a alcanzar una reducción del 45% respecto al año 2016 (Gobierno de Chile, 2020).

Así, considerando que este compromiso de reducción es aplicable a todos los sectores de la economía del país, se esperaría que en el 2030 las emisiones del transporte público por buses de la ciudad de Santiago sean inferiores, por lo menos en un 30%, a lo emitido por este sector en el año 2016.

Con base en lo anterior, y a partir del histórico de la flota y de sus características operacionales, se estima que en el año 2016 las emisiones de los buses de transporte público urbano de Santiago emitieron aproximadamente 597 ktCO<sub>2</sub>. Por lo tanto, al 2030, se esperaría que, para dar cumplimiento a la NDC, la emisión de este sector sea de máximo 418 ktCO<sub>2</sub>.

A partir de los escenarios de emisiones, se identifica que el ambicioso plan de electromovilidad de la ciudad de Santiago permitiría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la operación del transporte público urbano por buses en cerca de un 75%, dando cumplimiento y superando con creces la meta 2030 propuesta en la NDC.



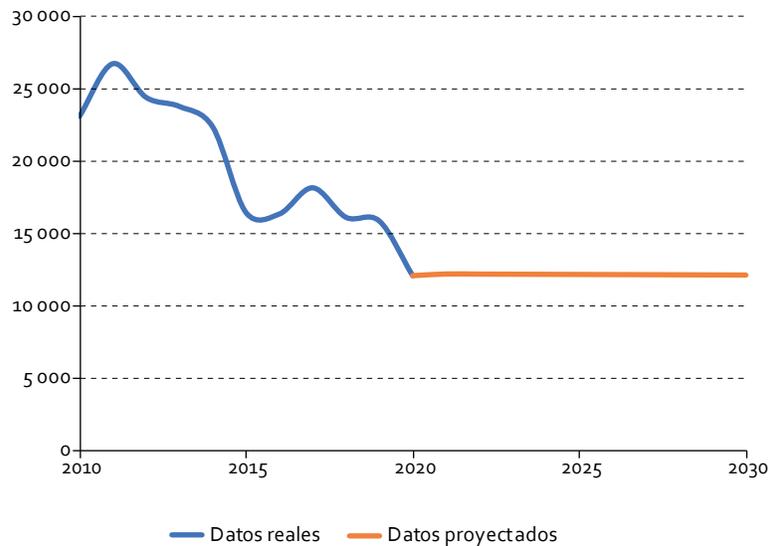
## V. São Paulo

Brasil, a través de su nueva NDC, se compromete a reducir las emisiones de GEI emitidas en el 2005 al 37% en el 2025 y al 50% en el 2030. Sin embargo, en su actualización la NDC no considera metas sectoriales específicas (Federative Republic Of Brazil, 2021). Para lograr este objetivo, la Plataforma Nacional de Movilidad Eléctrica de Brasil, se ha propuesto que el 39% de los buses de transporte público en el país sean eléctricos al año 2030 (PNME, 2021). Por su parte, el gobierno de la ciudad de São Paulo se ha planteado que, al 2024, el 20% de la flota de transporte público esté compuesta por buses eléctricos (Prefeitura da Cidade de São Paulo, 2021).

### A. Parámetros socioeconómicos

De acuerdo con datos del Banco Mundial, se estima que en 2020 el PIB per cápita de Brasil fue de 6.797USD/habitante (Banco Mundial (2022a)). Por parte de la ciudad de São Paulo, y a partir de datos del Instituto Brasileiro de Geografía e Estadística (IBGE) se estima un PIB per cápita de 12.162 al año 2020 (IBGE, 2019). A continuación, el gráfico 33 presenta el comportamiento y la proyección del PIB entre 2010 y 2030, obtenida a partir del anexo A1 – Modelos matemáticos.

**Gráfico 33**  
**PIB per Cápita São Paulo, 2010-2030**  
 (En USD)



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a), IBGE (2019) y proyecciones realizadas.

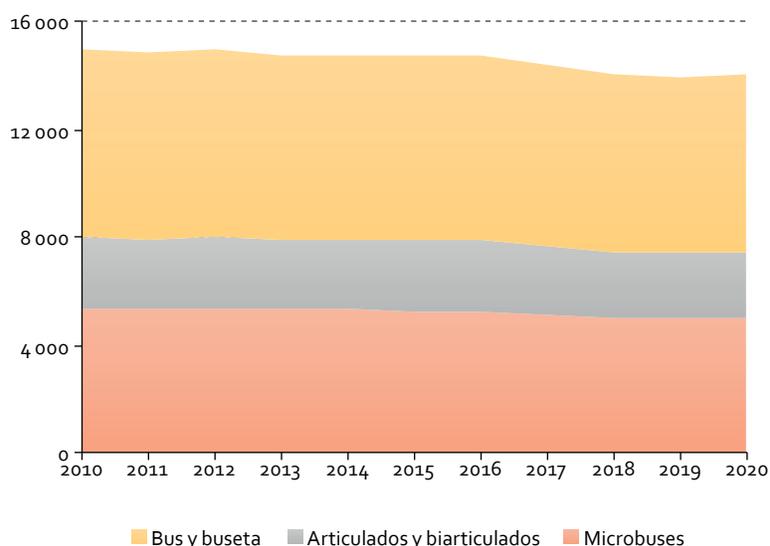
## B. Características de la flota de buses del transporte público

Los servicios de transporte público de pasajeros de São Paulo incluyen líneas de ómnibus municipales, líneas de metro y tren metropolitano y líneas de ómnibus interurbanos, que conectan la ciudad con otros municipios de la Región Metropolitana de São Paulo – RMSP. El modelo actual del transporte público municipal en São Paulo divide la ciudad en nueve áreas diferentes. Allí diferentes empresas y cooperativas prestan servicios de transporte por bus, microbús, van y trolebús. El sistema de transporte público de São Paulo posee una flota de más de 14.000 autobuses que operan en 1.340 líneas, es la mayor de Brasil y una de las mayores flotas de autobuses del mundo. Este sistema transporta un promedio de 8 millones de pasajeros por día. El 98% de la flota de autobuses de tránsito de São Paulo funciona con motores diésel (Dallmann, 2019).

Al año 2020, se estima que tenían en operación 14.502 buses (Secretaría Municipal de Urbanismo e Licenciamiento São Paulo, 2019). A partir de datos del ICCT obtenidos al año 2016 (Dallmann, 2019), se estima que cerca de un 36 % de estos buses son microbuses (*mini-ônibus* y *midi-ônibus*), el 47% buses y busetas (básico y padrón), el 16% articulados, y el 1% biarticulados. A continuación, el gráfico 34 presenta el histórico de tipología de buses de la ciudad de São Paulo entre 2010 y 2020. El detalle de la información se presenta de manera discreteada en el anexo A6 – São Paulo.

Los autobuses del sistema de transporte público urbano de la ciudad de São Paulo operan principalmente con combustible diésel. Así mismo, mediante la Ley 15831 de la Asamblea Legislativa del Estado de São Paulo (2015), se ha establecido la vida útil de los buses del sistema de transporte público. A continuación, el cuadro 18 presenta la participación tecnológica de la flota para el año 2020 y la vida útil establecida para cada tipología de vehículo.

**Gráfico 34**  
**Histórico de la flota de buses urbanos de São Paulo, 2010-2020**  
 (En número de vehículos)



Fuente: Elaboración propia con base en Federative Republic Of Brazil, (2021), IBGE (2019), Dallmann (2019) & Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019).

**Cuadro 18**  
**Participación tecnológica y vida útil de la flota de buses urbanos de São Paulo**

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación	Vida útil (años)
Microbús	Diésel	100	8
Bus y buseta	Diésel	100	10
Articulados	Diésel	100	15
Bi-Articulados	Diésel	100	15

Fuente: Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019) & Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (2015).

Adicionalmente, la flota de autobuses urbanos de la ciudad de São Paulo es caracterizada en función del estándar de emisiones que cumple. Así, se identifica que a partir del año 2023 todos los vehículos nuevos, de la categoría autobuses, que ingresan al mercado automotor de Brasil, deben cumplir con la fase Proconve P8, equivalente al estándar de emisiones Euro VI (Transport Policy, 2022). En el anexo A6 – São Paulo, se presenta el detalle de la evolución de los estándares de emisión del país a lo largo del tiempo. Finalmente, el análisis energético y de emisiones de la flota es realizada a partir del estimativo de la intensidad de uso (AVKT) y el rendimiento de combustible. Así, a partir de reportes del ICCT (Dallmann, 2019) se identifican los factores de operación de los autobuses urbanos de la ciudad de São Paulo, mostrados en el cuadro 19.

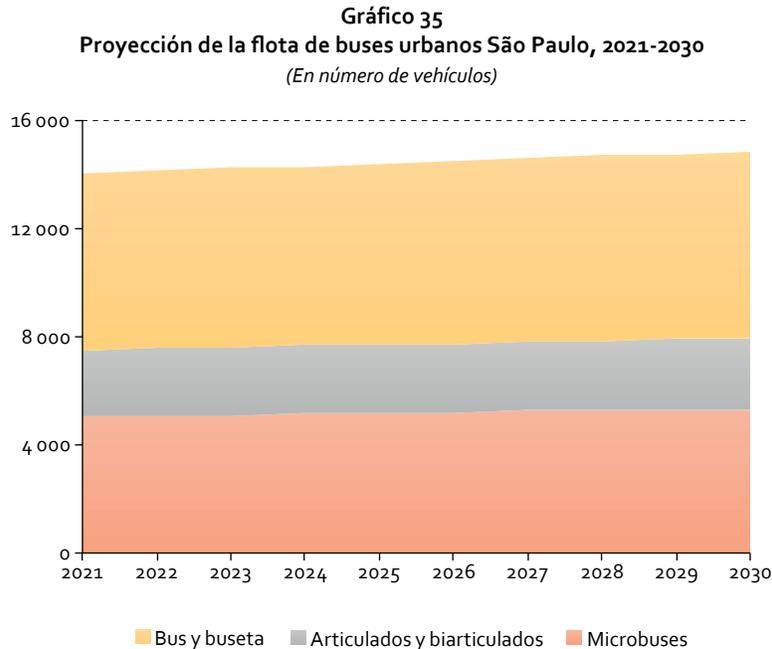
**Cuadro 19**  
**Factores de operación de la flota de buses urbanos de São Paulo**

Tipo de bus	Combustible	AVKT (km/año)	Rendimiento de combustible (km/Lge)
Microbús	Diésel	70 300	2,65
Bus y buseta	Diésel	68 750	1,69
Articulados y biarticulados	Diésel	61 886	1,26

Fuente: Elaboración propia con base en Dallmann (2019).

## C. Proyecciones y escenarios 2030

A continuación, el gráfico 35 presenta la proyección de la cantidad de buses por tipología entre los años 2020-2030.



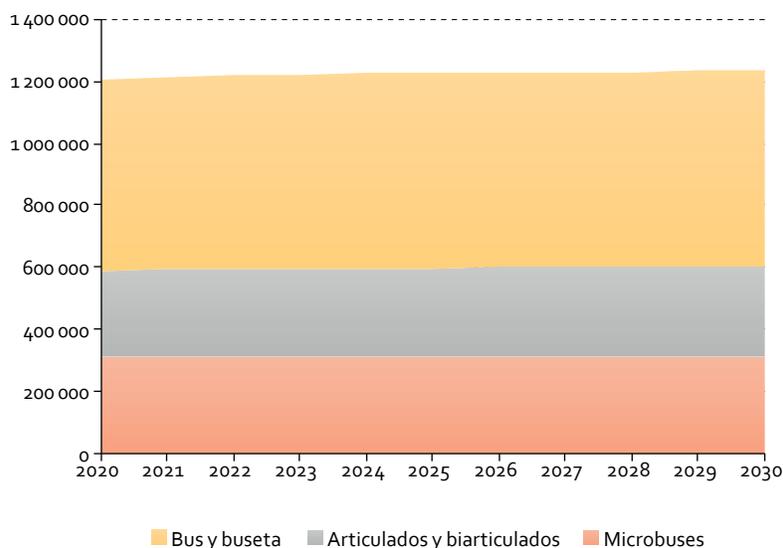
Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (2015), y Dallmann (2019).

### 1. Escenarios de emisiones 2030 – BAU

Para el escenario BAU, se considera que al 2030 la flota de buses de la ciudad tendrá la misma participación tecnológica de autobuses diésel operando en la ciudad de São Paulo (ver cuadro 18).

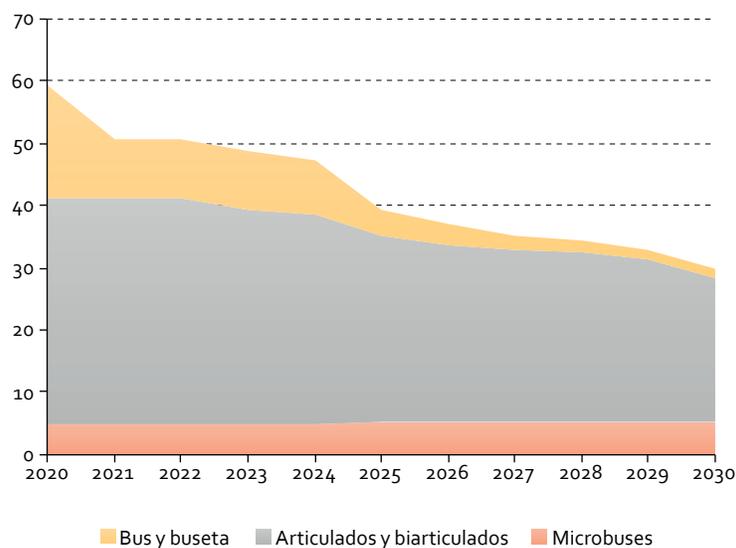
Bajo esta premisa, el gráfico 36 y el gráfico 37 presentan el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2020 y 2030. De allí se observa que, con la tendencia actual de participación tecnológica y crecimiento de la flota de buses de la ciudad, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan en un 2% respecto al año 2020. Por otro lado, se evidencia una reducción considerable en las emisiones de PM<sub>2,5</sub> a partir del año 2024, producto de la entrada en vigencia del estándar P8, equivalente al Euro VI.

**Gráfico 36**  
**Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo (BAU)**  
 (En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (2015), y Dallmann (2019).

**Gráfico 37**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo (BAU)**  
 (En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (2015), y Dallmann (2019).

## 2. Escenarios de emisiones 2030 – Programa de electromovilidad

De acuerdo con la meta de la Plataforma Nacional de Movilidad Eléctrica de Brasil, donde se propone que al 2030 el 39% de los buses de transporte público en todo Brasil serán eléctricos (PNME, 2021), se evalúa una participación del 39% de buses eléctricos en la flota de transporte público de la ciudad de São Paulo. Así, se identifica la participación tecnológica de los buses al año 2030, como se presenta en el cuadro 20.

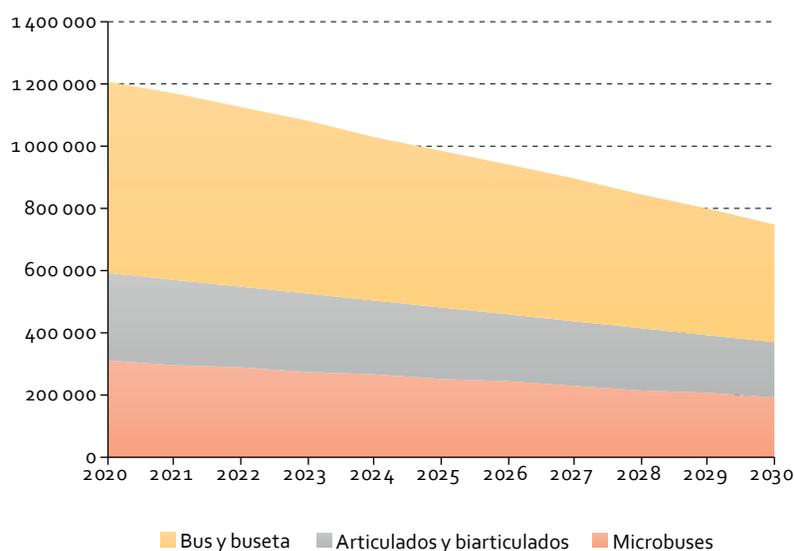
**Cuadro 20**  
Participación tecnológica de los buses de São Paulo – Escenario de electromovilidad

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Microbús	Diésel	61
	Electricidad	39
Buses y busetas	Diésel	61
	Electricidad	39
Articulados	Diésel	61
	Electricidad	39

Fuente: Elaboración propia con base en PNME (2021).

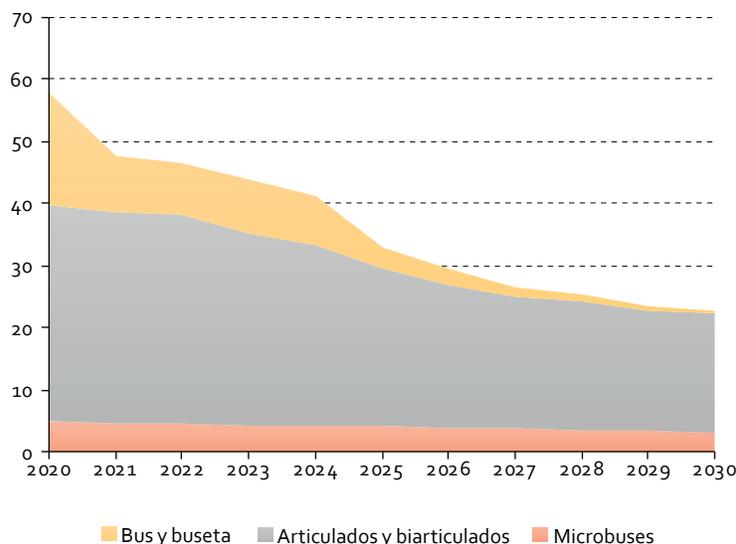
A partir de lo anterior, el gráfico 38 y el gráfico 39 se presenta el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y PM<sub>2,5</sub> derivadas de la operación de los autobuses urbanos entre los años 2020 y 2030. De allí se evidencia una reducción del 39% en las emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2030, respecto al escenario BAU, equivalente a cerca de 480 ktCO<sub>2</sub> dejadas de emitir. Por otro lado, las emisiones de PM<sub>2,5</sub> presentan una reducción del 24% en el 2030, equivalente a unas 7 toneladas de este contaminante dejadas de emitir.

**Gráfico 38**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo: programa de electromovilidad  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en PNME (2021).

**Gráfico 39**  
**Proyección de emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipología, 2020-2030 – São Paulo: programa de electromovilidad**  
 (En tPM<sub>2,5</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en PNME (2021).

### 3. Análisis del cumplimiento de las NDCs

Mediante su NDC, el gobierno de Brasil se compromete a reducir las emisiones de GEI en un 50% al 2030, respecto a la cifra del año 2005. Según el inventario de emisiones de GEI del país (Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações, 2021), se estima que en el 2005 la producción de GEI rondó las 2446 MtCO<sub>2e</sub>. Esto indica que, a partir de la meta nacional, se esperaría que al año 2030 la generación de estos compuestos no supere el valor de 1223 MtCO<sub>2e</sub>. Así, considerando que en el 2016 se emitieron cerca de 1467 MtCO<sub>2e</sub> (Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações, 2021), se podría esperar que al 2030 la tasa de reducción de emisiones sea cerca de un 16,7% respecto a la cifra del 2016.

Por otro lado, si se analiza únicamente la producción de GEI asociadas a la operación del sector energía, se tiene que en los años 2005 y 2016 se emitieron cerca de 313 MtCO<sub>2e</sub> y 423 MtCO<sub>2e</sub> respectivamente. Por lo que, a partir de la meta propuesta en la NDC, se esperaría que este valor no supere las 156 MtCO<sub>2e</sub> en el año 2030, lo que sería equivalente a esperar una reducción del 63% de las emisiones de GEI entre el 2030 respecto al 2016.

A partir de las proyecciones realizadas en este estudio, se estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte público urbano por buses de la ciudad de São Paulo en el año 2016 son de 1.288.295 tCO<sub>2</sub>, y que, a partir de las metas de electromovilidad analizadas para la ciudad, esta cifra puede descender hasta las 751 ktCO<sub>2</sub> en el 2030.

Por lo tanto, la reducción alcanzada sería aproximadamente de 41,7%. Así, con base en lo anterior, se identifica que si las metas se basan en el porcentaje de reducción de emisiones totales del país (16,7%) se cumpliría con los compromisos establecidos. Sin embargo, dado que la meta de electromovilidad analizada no fue desarrollada como plan de ciudad, se estima que, para dar cumplimiento a la NDC del país, la ciudad de São Paulo debería buscar que, por lo menos, el 13% de la flota de buses sea eléctrica a 2030. Así, se estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> serían de 1.071 ktCO<sub>2</sub>, representando una reducción del 16,8% respecto a la cifra del 2016.

Por otro lado, si las metas se basan en el porcentaje de reducción de emisiones del sector energía (63%), no cumple con los compromisos, por lo que, para su cumplimiento se debería por lo menos

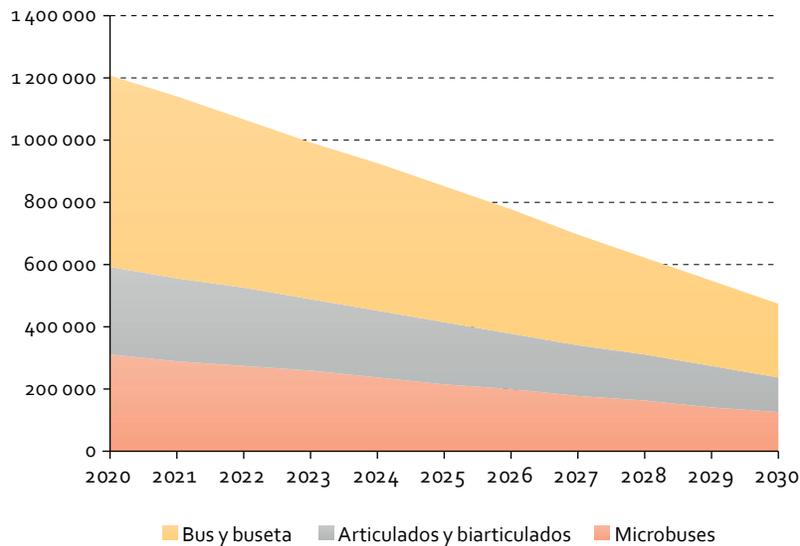
aumentar la participación de vehículos eléctricos de manera ambiciosa en todas las clases a excepción de bus y buseta a, por lo menos hasta alcanzar un 61%, como se presenta en el cuadro 21.

**Cuadro 21**  
Participación tecnológica de los buses de São Paulo – Cumplimiento de la NDC

Tipo de bus	Tipo de combustible	Porcentaje de participación
Microbús	Diésel	39
	Eléctrico	61
Buses y busetas	Diesel	38
	Eléctrico	62
Articulados y biarticulados	Diésel	39
	Eléctrico	61

Fuente: Elaboración propia con base en Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações (2021).

**Gráfico 40**  
Proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología, 2020-2030 – Cumplimiento de las NDCs  
(En tCO<sub>2</sub>/año)



Fuente: Elaboración propia con base en Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações (2021).

## VI. Conclusiones y recomendaciones

La inclusión de vehículos de bajas o cero emisiones en el transporte público de América Latina y el Caribe se plantea como una estrategia para la descarbonización del sector y como uno de los caminos hacia el cumplimiento de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC). Sin embargo, no existe homogeneidad en los compromisos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> entre los países, y pocos de ellos cuentan con metas y contribuciones sectorizadas que permitan evaluar directamente el impacto de algunas estrategias sobre el cumplimiento de los compromisos adquiridos a nivel nacional.

Uno de los principales mecanismos adoptados por los países para dar cumplimiento a sus NDCs es la adopción de vehículos eléctricos para el transporte público urbano, más específicamente en la flota de autobuses. Ciudades de Latinoamérica como Santiago, Bogotá, Ciudad de México, Buenos Aires y São Paulo, tienen metas ambiciosas de penetración de unidades eléctricas en sus flotas de autobuses locales. Los resultados mostrados en este estudio muestran que con los planes de electromovilidad planteados al mediano plazo (2030), las ciudades pueden obtener beneficios en términos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, países como Colombia, México y Brasil requerirían realizar mayores esfuerzos para aumentar un poco la penetración de buses eléctricos.

Colombia, en su NDC, se compromete a reducir en un 51% sus emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a un escenario BAU. Para ello, la ciudad de Bogotá propone que a partir del 2022 todos los buses nuevos no podrán basar su operación en el uso de combustibles fósiles. Con esta medida, se estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> se pueden reducir en cerca de un 46%, respecto al escenario BAU, siendo una medida insuficiente para cumplir con el compromiso nacional adquirido. Como alternativa, se podría promover una renovación más rápida de la flota, y se identifica que si los buses diésel salen de operación un año antes de lo establecido, al 2030 se tendría una participación de cerca un 4% más de unidades eléctricas, permitiendo alcanzar reducciones de un 51% en las emisiones de CO<sub>2</sub> al 2030, respecto al escenario BAU.

Argentina, por su parte, mediante su NDC se compromete a no emitir más de 359 MtCO<sub>2e</sub> al 2030, este compromiso se puede traducir en reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 2,4% respecto al 2014. Como aporte a este compromiso nacional, la ciudad de Buenos Aires plantea como meta al 2030 que el 10% de su flota de autobuses urbanos sean eléctricos. Se estima que la implementación de esta alternativa podría reducir en cerca de un 12,7% las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la operación de los buses al 2030, respecto al 2014, cumpliendo así con los compromisos adquiridos por el país.

México estable en su NDC el compromiso de reducir las emisiones de GEI de manera incondicional en un 22% al 2030, respecto a un escenario BAU. Por otro lado, la CDMX plantea como meta tener al 2030 una flota compuesta en un 20% por buses eléctricos. Mediante esta alternativa, se estima se podrían reducir en cerca de un 20% las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, se identifica que para cumplir con lo establecido en la NDC, se debería promover que por lo menos un 25% de la flota de autobuses urbanos de la ciudad sea eléctrica al 2030, principalmente en las categorías 'Bus y buseta' y 'Articulado y biarticulado'.

La NDC de Chile establece el compromiso de obtener una reducción del 30% en las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a lo emitido en el año 2016. Para ello, una de las medidas adoptadas por el país es la adopción de autobuses eléctricos. En la ciudad de Santiago se plantea como meta que el 100% de las ventas de transporte público, incluyendo buses, taxis y colectivos sean eléctricos para el 2035. Así se estima que si el 100% de los nuevos ingresos de buses entre 2023 y 2030 son eléctricos, sería posible alcanzar reducciones de hasta un 75% en las emisiones de CO<sub>2</sub> al 2030, respecto al 2016, cumpliendo con la NDC. Este fenómeno se debe también a la rápida renovación de la flota, puesto que el tener una vida útil de 10 años, permite promover y acelerar la penetración de tecnologías de bajas y cero emisiones en el sistema de transporte público de la ciudad de Santiago.

Finalmente, el gobierno de Brasil en su NDC se compromete a reducir las emisiones de GEI en un 50% al 2030, respecto al 2005. Esto sería equivalente a alcanzar una reducción del 16,7% respecto al 2016. Así mismo se analiza como meta que el 39% de los buses de transporte público en todo Brasil sean eléctricos al 2030. Por lo tanto, si esta misma meta es propuesta para la ciudad de São Paulo, se podría esperar que al 2030 las emisiones de CO<sub>2</sub> de la flota de buses de la ciudad se reduzcan en un 63% respecto al 2016, dando cumplimiento a los compromisos nacionales. Sin embargo, dado que el plan de electromovilidad no fue desarrollado para la ciudad de São Paulo, se estima que, para dar cumplimiento a la reducción de emisiones de GEI propuesto en el país, la flota de buses de la ciudad debería estar compuesta por un 13% de unidades eléctricas al 2030.

## Bibliografía

- ADEFA (Asociación de Fabricantes de Automotores) (2020). *Anuarios - 2020*. <http://www.adefa.org.ar/es/estadisticas-anuarios> (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo (2015). *Lei Nº15.831*. 15 de junio de 2015. (Recuperado el 20 de mayo 2022) [Online]. <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2015/lei-15831-15.06.2015.html>.
- Banco Central de Chile (2020). *Cuentas Nacionales de Chile. PIB Regional. 2020*. Recuperado el 20 de mayo, 2022. [Online]. <https://www.bcentral.cl/web/banco-central/areas/estadisticas/pib-regional>.
- Banco de Desarrollo de América Latina (2022). *Buenos Aires*. <https://www.caf.com/es/temas/o/observatorio-de-movilidad-urbana/ciudades/buenos-aires/> (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- Banco Mundial (2022a). *PIB per cápita (US\$ a precios actuales)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD> (Recuperado el 2 De junio, 2022).
- Banco Mundial. (2022b). *Datos de libre acceso del Banco Mundial*. <https://datos.bancomundial.org/>.
- Barassa, E., Ferreira da Cruz, R., Moraes, B. & Barrasa & Cruz Consulting (2020). *1st. Brazilian Electric Mobility. Annual Report*. National Platform for Electric Mobility (PNME).
- Baruj, G., Dulcich, F., Porta, F. & Matías U. (2021). *La transición hacia la electromovilidad: panorama general y perspectivas para la industria argentina*. Documentos de Trabajo del CCE N° 5, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- CABA (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires) (2022). *Sector transporte*. <https://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/cambioclimatico/inventario-y-mitigacion/medidas/sector-transporte> (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- CFF (C40 Cities Finance Facility) & Carbon Trust México (2018). *Estrategia de electromovilidad de la Ciudad de México 2018 – 2030*. Ciudad de México.
- Concejo de Bogotá (2018). *Acuerdo 732 de 2018*.
- Congreso de Colombia (1993). *Ley 105 de 1993*. Bogotá.
- Dallman, T., Du, L. & Minjares, R. (2017). *Low-carbon technology pathways for soot-free urban bus fleets in 20 megacities*. International Council on Clean Transportation.
- Dallmann T. (2019). *Climate and air pollutant emissions benefits of bus technology option in São Paulo*. [Online]. [www.theicct.orgcommunications@theicct.orgACKNOWLEDGMENTS](http://www.theicct.orgcommunications@theicct.orgACKNOWLEDGMENTS).
- DANE (2020). *Proyecciones de población*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion> (Recuperado el 16 de mayo 2022).
- Dargay, J., Gately, D. & Sommer, M. (2007). Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030. *Energy Journal*, 28(4), pp.143–170. doi: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol28-No4-7.

- Dirección General de Estadísticas y Censos (2016). *Líneas, pasajeros transportados, kilómetros recorridos y recaudación (miles de pesos) por grupo tarifario y categoría del transporte automotor urbano de pasajeros. Región Metropolitana de Buenos Aires. Años 1995/2016*. <https://www.estadisticaciudad.gob.ar/eyc/?p=29194> (Recuperado el 16 de Mayo, 2022).
- DTP (Directorio de Transporte Público Metropolitano) (2018). *Sistema Integrado de Transporte Público de la ciudad de Santiago de Chile*. <https://www.dtpm.cl/index.php/homepage/sistema-integrado-de-transporte> (Recuperado el 20 de mayo, 2022).
- DTP (2021). *Informe de Gestión 2021*. Santiago de Chile.
- DTP & Transantiago Se Renueva (2017). *Estándar de Buses del Sistema de Transporte Público de Santiago*.
- E-bus Radar (2022). *Buses Eléctricos en América Latina*. <https://www.ebusradar.org/es/> (Recuperado el 22 De mayo 2022).
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2020). *Direct Emissions from Mobile Combustion Sources. (EPA430-K-08-004)*. Climate Leaders GHG Inventory Protocol, no. December 2020.
- Federative Republic Of Brazil (2021). *Nationally Determined Contribution (NDC)*. Brasil.
- Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (2018). *Proposta Inicial de Implementação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC)*.
- Gobierno de Argentina (2020). *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina.
- Gobierno de Chile (2020). *Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile. Actualización 2020*. Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.
- Gobierno de Chile (2022). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. Ministerio de Energía, Santiago de Chile.
- Gobierno de Colombia (2020). *Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)*.
- Gobierno de la Ciudad de México (2020). *Programa Integral de Movilidad de la Ciudad de México 2020–2024*. Secretaría de Movilidad, México D.F.
- Gobierno de México (2018). *Catálogos de Tecnologías Seleccionadas del Sector Autotransporte para México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gobierno de México (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [Online]. <https://www.gob.mx/semarnat>.
- Grütter J. (2015). *Rendimiento ambiental y económico de buses híbridos y eléctricos basados en grandes flotas operacionales*. Grütter Consulting AG.
- Huertas, J. I., Díaz, J., Mogro, A. E., Serrano, O. S., Matrascusa, D., Vázquez, I., Leyva, M. A., Cano, I., Camacho, M. S., Villarreal, S., & Luis, M. (2021). *Línea de base de economía de combustible para vehículos pesados en México*. Monterrey, México.
- IBGE (2019). *Produto Interno Bruto dos Municípios: São Paulo*. Produto Interno Bruto dos Municípios. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/pesquisa/38/46996> (Recuperado el 20 de mayo 2022).
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas) (2022). *Permiso de Circulación*. Santiago de Chile, mayo 2022.
- INEGI (2020). *Vehículos de motor registrados en circulación*. [https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculos-motor/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculos-motor/#Datos_abiertos) (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- INEGI (2021a). *Población total por entidad federativa y grupo quinquenal de edad según sexo, serie de años censales de 1990 a 2020*. [https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion\\_Poblacion\\_01\\_e60cd8cf-927f-4b94-823e-972457a12d4b&idrt=123&opc=t](https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Poblacion_Poblacion_01_e60cd8cf-927f-4b94-823e-972457a12d4b&idrt=123&opc=t) (Recuperado el 16 de Mayo, 2022).
- INEGI (2021b). *PIB por Entidad Federativa (PIBE). Base 2013*. [https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/#Datos_abiertos) (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- INEGI (2022). *Transporte Urbano de Pasajeros*. <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/?nc=100100041&idrt=181&opc=t> (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- Kohli, S., Khan, T., Yang, Z. & Miller, J. (2022). *Zero-Emission Vehicle Deployment: Latin America*. [Online]. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/>.
- Miller, J. & Braun, C. (2020). *Análisis costo-beneficio de las normas Euro VI sobre emisiones en vehículos pesados en Argentina*. International Council on Clean Transportation.
- Ministério da Ciência Tecnologia e Inovações (2021). *Emissões de GEE por Setor*. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1> (Recuperado el 6 de junio, 2022).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina (2020). *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*. Buenos Aires.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina (2017). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Buenos Aires.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). *Calendario normativo de emisiones*. Gobierno de Colombia.
- Ministerio de Transporte de Argentina (2018a). *Plan de movilidad limpia en Buenos Aires*. Presidencia de la Nación Argentina, Buenos Aires.
- Ministerio de Transporte de Argentina (2018b). *Cálculo de Costos e Ingresos Medios de los Servicios de Transporte de Pasajeros Urbanos y Suburbanos de la Región Metropolitana de Buenos Aires*. Buenos Aires.
- Movimentistas (2020). *Transporte público de la CDMX 2020*. <https://movimentistas.com/movilidad-urbana/transporte-publico-cdmx/> (Recuperado el 13 de Mayo, 2022).
- OCDE (2019). *Annex B. Explanatory guide for using the OPTIC Model*. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/f5585602-en/index.html?itemId=/content/component/f5585602-en#section-d1e22660> (Recuperado el 16 de Mayo, 2022).
- Palma Behnke R., C. Barría, K. Basoa, D. Benavente, C. Benavides, B. Campos, N. de la Maza, L. Farías, L. Gallardo, M. J. García, L. E. Gonzales Carrasco, F. Guarda, R. Guzmán, A. Jofré, J. Mager, R. Martínez, M. Montedónico, L. Morán, L. Muñoz, M. Osses, A. Pica, M. Rojas, A. Rudnick, J. P. San Martín, A. Santander, C. Silva, S. Tolvett, R. Torres, A. Urquiza, P. Valdivia, S. Vicuña (2019). *Chilean NDC Mitigation Proposal: Methodological Approach and Supporting Ambition*. Mitigation and Energy Working Group Report. Santiago: COP25 Scientific Committee; Ministry of Science, Technology, Knowledge and Innovation.
- Papaioannou D. & Windisch, E. (2022). *Decarbonising Transport in Latin American Cities. Assessing scenarios to 2050*. Inter-American Development Bank.
- PNME (Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica) (2021). *Avaliação de Cenários Prospectivos para Eletrificação de Ônibus no Brasil*.
- Prefeitura da Cidade de São Paulo (2021). *Programa de Metas 21/24*. São Paulo.
- Programa Internacional de Cooperación Urbana (2011). *Transporte Urbano Sostenible - Caso: Red Metrobús*.
- Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019). *Transportes Dados*. [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento\\_urbano/dados\\_estatisticos/info\\_cidade/transportes/index.php?p=260371#4\\_04\\_1](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/info_cidade/transportes/index.php?p=260371#4_04_1) (Recuperado el 20 de mayo 2022).
- Transmilenio S.A. (2021). *Estadísticas de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público SITP*.
- Transmilenio. (2022). *Datos de Transmilenio*.
- Transport Policy (2022). *Brazil: Heavy-Duty: Emissions*. (Recuperado el 20 de mayo 2022). <https://www.transportpolicy.net/standard/brazil-heavy-duty-emissions/>.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) (2015). *Proyección de demanda de combustibles en el sector transporte en Colombia*. Bogotá.
- UPME (2016). *Aplicación calculadora*. Calculadora de emisiones (Recuperado el 6 agosto, 2021). [http://www.upme.gov.co/calculadora\\_emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html).
- UPME (2019). *Plan Energético Nacional 2020 - 2050*. Documento de Consulta. Bogotá, D.C.
- Yang, L. & He, H. (2018). *China's Stage VI emissions standard for heavy-duty vehicles (final rule)*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/chinas-stage-vi-emissions-standard-for-heavy-duty-vehicles-final-rule/> (Recuperado el 16 de Mayo, 2022).



## Anexos

## Anexo A1

### Modelos matemáticos

#### Modelo socioeconómico

Este modelo se encuentra basado en el modelo de Gompertz y permite proyectar el índice de motorización (Vehículos/1000 habitantes) con base en el porcentaje de crecimiento histórico. Para ello, se requiere conocer el comportamiento del crecimiento poblacional y del Producto Interno Bruto per cápita (PIBc) de la última década para la ciudad en estudio.

En este sentido, los datos históricos del PIB per cápita de los países objeto de estudio, se presentan en el cuadro 22. Como hipótesis de trabajo se asume que la variación porcentual anual del PIB per cápita de las ciudades es similar a la variación porcentual anual de sus respectivos países (Banco Mundial (2022a).

**Cuadro A1.1**  
Producto interno bruto per cápita a precios actuales

Año	En dólares per cápita				
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México
1971	1 372	501	1 095	355	739
1972	1 409	585	1 173	385	826
1973	2 097	817	1 640	448	981
1974	2 845	1 049	1 554	526	1 242
1975	2 027	1 205	720	544	1 476
1976	1 948	1 395	961	623	1 454
1977	2 130	1 569	1 278	774	1 301
1978	2 146	1 740	1 442	904	1 589
1979	2 521	1 878	1 937	1 062	2 035
1980	2 759	1 967	2 543	1 242	3 027
1981	2 776	2 088	2 980	1 323	3 803
1982	2 928	2 145	2 157	1 387	2 598
1983	3 553	1 465	1 709	1 349	2 148
1984	2 660	1 423	1 625	1 304	2 478
1985	2 926	1 559	1 444	1 165	2 569
1986	3 614	1 857	1 518	1 143	1 734
1987	3 563	2 009	1 760	1 166	1 863
1988	3 985	2 147	2 027	1 232	2 248
1989	2 384	2 372	2 289	1 218	2 688
1990	4 333	2 622	2 495	1 445	3 112
1991	5 735	2 259	2 804	1 457	3 662
1992	6 824	2 128	3 350	1 697	4 171
1993	6 969	2 348	3 535	1 894	5 650
1994	7 483	3 295	4 024	2 285	5 854
1995	7 409	4 748	5 107	2 540	3 928
1996	7 721	5 166	5 350	2 621	4 412
1997	8 213	5 282	5 745	2 827	5 289
1998	8 290	5 087	5 447	2 566	5 481
1999	7 775	3 480	4 958	2 210	6 157
2000	7 708	3 750	5 075	2 520	7 158
2001	7 208	3 160	4 575	2 440	7 545
2002	2 593	2 839	4 446	2 397	7 593
2003	3 350	3 070	4 773	2 281	7 075
2004	4 278	3 637	6 195	2 783	7 484

Cuadro A1.1 (conclusión)

Año	En dólares per cápita				
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México
2005	5 110	4 790	7 599	3 414	8 278
2006	5 919	5 886	9 465	3 741	9 068
2007	7 245	7 348	10 502	4 714	9 643
2008	9 021	8 831	10 751	5 473	10 017
2009	8 225	8 598	10 209	5 193	8 003
2010	10 386	11 286	12 808	6 337	9 271
2011	12 849	13 245	14 637	7 335	10 203
2012	13 083	12 370	15 352	8 050	10 242
2013	13 080	12 300	15 843	8 218	10 725
2014	12 335	12 113	14 671	8 114	10 929
2015	13 789	8 814	13 574	6 176	9 617
2016	12 790	8 710	13 754	5 871	8 745
2017	14 613	9 929	14 999	6 377	9 288
2018	11 795	9 151	15 888	6 730	9 687
2019	10 057	8 898	14 742	6 425	9 950
2020	8 579	6 797	13 232	5 335	8 329

Fuente: Banco Mundial (2022a).

Adicionalmente, en el cuadro A1.2 se presenta la variación porcentual del PIB per cápita basada en la estimación mediante funciones de tendencia polinómica de tercer orden.

**Cuadro A1.2**  
Variación porcentual del producto interno bruto según estimación mediante funciones de tendencia

Año	(Δ% PIB per cápita)				
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México
2021	-1,13	-7,25	-4,64	-6,84	-3,09
2022	2,44	0,88	3,10	2,39	-2,20
2023	2,39	0,66	2,98	2,26	-2,71
2024	2,35	0,43	2,87	2,13	-3,27
2025	2,31	0,19	2,76	2,01	-3,91
2026	2,27	-0,06	2,65	1,88	-4,63
2027	2,23	-0,32	2,54	1,76	-5,47
2028	2,19	-0,59	2,44	1,64	-6,45
2029	2,15	-0,88	2,34	1,52	-7,64
2030	2,12	-1,18	2,24	1,40	-9,09

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de Gompertz, es utilizado en diversos estudios de proyección del crecimiento de flotas vehiculares, puesto que, relaciona la cantidad de vehículos por habitantes en función del PIBc, mediante la ec. 1 (Dargay, Gately & Sommer, 2007).

$$IM_t = \gamma e^{\alpha e^{\beta(PIB_c)}} \quad (1)$$

Donde  $IM_t$  es la cantidad de vehículos por cada 1000 habitantes (conocido como propiedad de vehículos o índice de motorización) para un tiempo  $t$ ; tiempo en el que se conoce el  $PIB_c$ . El parámetro  $\gamma$  es conocido como el nivel de saturación de los vehículos, el cual es expresado en vehículos por cada 1000 habitantes y establece hasta dónde puede crecer el tamaño de la flota. Finalmente,  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros que determinan la forma de la curva de Gompertz. El parámetro  $\alpha$  determina la cantidad de vehículos

en los ingresos bajos, es decir cuando el *PIBc* tiende a cero (o). Por su parte  $\beta$  determina la cantidad de vehículos en los ingresos más altos.

El nivel de saturación se estima a partir de un nivel de referencia máximo de acuerdo con lo establecido por *Dargay y Gately*, tal como se presenta en la ec. 2 (*Dargay, Gately & Sommer, 2007*). Para este caso se toma el valor de Estados Unidos (de 852 vehículos por cada 1000 habitantes) y la diferencia entre densidad poblacional del país de análisis y del país de referencia, estos últimos pueden ser obtenidos a partir del Banco Mundial (*Banco Mundial, 2022b*).

$$\gamma_{\text{país}} = \gamma_{\text{máx}} - 0.338(D_x - D_{USA}) \quad (2)$$

Es importante mencionar, que el nivel de saturación puede variar considerablemente las proyecciones de los vehículos, por lo tanto, para este estudio se tomó como base los lineamientos planteados para las proyecciones realizadas en Colombia en la herramienta HECEV.

### Modelo de caracterización

Este modelo permite proyectar el número de vehículos para todo el período analizado (2022 - 2030), considerando lo establecido en el modelo socioeconómico y los porcentajes de participación de vehículos definidos por clase (buses, microbuses, articulados) y tecnología de motorización (diésel, gasolina, GNV, GLP, eléctricos, híbridos). Para ello, se requiere considerar las características de los vehículos, tales como: antigüedad, cantidad de vehículos por clase y tecnología de motorización, y el valor promedio de intensidad de uso (AVKT, por sus siglas en inglés *Average Vehicle-Kilometers Traveled*) por clase. En este sentido, el modelo toma como punto de partida los actuales porcentajes de participación de las tecnologías de motorización de los buses, para evaluar el comportamiento tanto en el consumo de energía como en las emisiones, al incorporar las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC).

Además, el modelo considera el total de kilómetros recorridos por clase y tecnología de motorización (VKT) para dar paso al cálculo del consumo energético y de las emisiones de los dos siguientes modelos. El VKT es resultado de multiplicar el número de vehículos con los kilómetros promedio recorridos por un solo vehículo, como se observa en la ec. 3.

$$VKT = AVKT * \#veh \quad (3)$$

Siendo el AVKT la intensidad de uso de una determinada clase, el cual puede variar con el tiempo a medida que el tamaño de la ciudad crece. Para este modelo, se supone un aumento anual de AVKT del 0,1 % a partir del 2020.

Por último, el modelo considera la vida útil de los vehículos con el fin de dar de baja la operación de aquellos buses que cumplen los años regulados en la normativa, e ingresar nuevos vehículos en el estándar de emisiones determinado por cada calendario normativo en el país o por un vehículo eléctrico.

### Modelo de energía

Este modelo permite calcular el consumo de energía del tanque a la rueda (*Tank to Wheel*) por clase y tecnología de motorización. Para ello, se considera el rendimiento de los vehículos, los kilómetros recorridos y los porcentajes de mejoras en el rendimiento que puede presentar el parque automotor.

Para este estudio, el rendimiento vehicular se toma como la relación entre la distancia que puede recorrer un vehículo y la cantidad de energía consumida para recorrer dicha distancia. Debido a que la energía consumida de buses proviene diferentes energéticos, el rendimiento se considera en kilómetros por litro de gasolina equivalente (km/Lge) con el fin de comparar directamente distintos tipos de tecnologías de motorización. En este sentido, el consumo energético de una flota vehicular se calcula de acuerdo con la ec. 4.

$$CE_{TTW} = \frac{VKT * PCI * \rho}{RC} \quad (4)$$

Donde RC es el rendimiento del combustible del vehículo convertido a (km/Lge), PCI el poder calorífico inferior, expresado en (kJ/kg), y  $\rho$  la densidad del combustible expresada en (kg/L). Estos dos últimos son necesarios para convertir el rendimiento de unidades de volumen a unidades de energía con el fin de conocer la cantidad de energía consumida por kilómetro. Por tal razón, para el cálculo de la energía TTW se consideran el PCI y la densidad de la gasolina en 45,33 kJ/kg y 0,7405 kg/L, respectivamente (UPME, 2016).

### Modelo de emisiones

Este modelo permite calcular las emisiones (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y PM<sub>2,5</sub>) del tanque a la rueda (*Tank to Wheel*) por clase y tecnología de motorización. El modelo considera los factores de emisión, la vida útil, el año de ingreso del estándar Euro 6/VI y la cantidad de vehículos de la flota.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas debido a la operación de los buses, se estiman con base en la cantidad de energía consumida. La ec. 5 presenta el modelo para el cálculo de esta especie química, en la que se tiene un factor de emisión que relaciona la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas y la energía consumida, expresado en (g/MJ). Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> se determinan por tipo de fuente de energía empleada y se muestran en el cuadro A1.3.

$$E_{TTW,CO_2} = CE_{TTW,CO_2} * FE_{CO_2} \quad (5)$$

**Cuadro A1.3**  
Factores de emisión de CO<sub>2</sub>

Combustible	FE (g/MJ)
Gasolina	66,67
Diésel	70,12
Gas Natural	50,32

Fuente: Elaboración propia con base en EPA (2020).

Por su parte, para el caso de las emisiones contaminantes generadas, es necesario conocer los factores de emisión para cada una de las tecnologías de motorización de cada clase. Los factores indican la cantidad de emisiones generadas en una determinada distancia (g/km). De este modo, las emisiones generadas se pueden calcular mediante la ec. 6, donde FE es el factor emisión.

$$E_{TTW} = VKT * FE \quad (6)$$

Los factores de emisión de los contaminantes, además de depender de la categoría de motorización, también depende del estándar con el que se desarrolla tal tecnología, esto hace que estos factores mejoren conforme se desarrollan nuevas tecnologías. De esta manera, se hace necesario determinar la cantidad de buses existentes por cada estándar de emisión, con el fin de relacionarlos con el factor de emisión del estándar correspondiente, de tal modo que la ec. 6 se convierte en la ec. 7.

$$E_{TTW} = VKT * \sum_{k=1}^6 (\% Est * FE_k) \quad (7)$$

Siendo  $k = 1, 2... 6$ , desde el estándar Euro I hasta el estándar Euro VI para todos los factores de emisión. Estos factores de emisiones se multiplican por el porcentaje de participación de los vehículos del estándar correspondiente (% EST).

## Anexo A2

### Bogotá

#### Parámetros socioeconómicos

**Cuadro A2.1**  
Proyección de parámetros socioeconómicos de Colombia y Bogotá

Año	Colombia	Bogotá
	PIB per cápita (USD/habitante)	
2010	6 337	5 251
2011	7 335	5 693
2012	8 050	6 098
2013	8 218	6 543
2014	8 114	7 023
2015	6 176	7 570
2016	5 871	8 089
2017	6 377	8 606
2018	6 730	9 136
2019	6 425	9 621
2020	5 335	7 988
2021	5462	8 179
2022	5593	8 374
2023	5719	8 563
2024	5841	8 746
2025	5958	8 921
2026	6070	9 089
2027	6177	9 249
2028	6 278	9 401
2029	6 373	9 543
2030	6 462	9 676

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a) & DANE (2020).

#### Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de Bogotá

**Cuadro A2.2**  
Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de Bogotá

Año	Automóviles	Microbuses	Bus y buseta	Articulados
2010	574 569	1 055	6 054	1 381
2011	645 244	1 090	6 255	1 427
2012	720 446	1 126	6 464	1 474
2013	785 457	1 163	6 676	1 523
2014	839 849	1 364	7 828	1 785
2015	899 967	1 460	8 380	1 911
2016	950 052	1 479	8 487	1 936
2017	995 861	1 489	8 546	1 949
2018	1.032 702	1 492	8 565	1 954
2019	1.071 712	1 517	8 709	1 986
2020	1 099 634	1 594	9 150	2 087

Fuente: Elaboración propia con base en Transmilenio (2022).

## Evolución de los estándares de emisiones

**Cuadro A2.3**  
**Evolución de los estándares de emisiones para Colombia**

Tipo de vehículo	Combustible	1998-2000	2001-2009	2010-2020	2023	2030
Microbuses	Gas Natural	Sin límites		Euro 4 / EPA 05		
	Diésel	Pre-Euro	Euro II / EPA 94	Euro IV / EPA 10	Euro VI	
Buses y busetas	Gas Natural	Sin límites		Euro IV / EPA 05		
	Diésel	Pre-Euro	Euro 2 / EPA 94	Euro IV / EPA 10	Euro VI	
Articulados	Gas Natural	Sin límites		Euro IV		
	Diésel	Pre-Euro	Euro 2 / EPA 94	Euro IV / EPA 10		

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020).

## Anexo A3 Buenos Aires

### Parámetros socioeconómicos

**Cuadro A3.1**  
Proyección de parámetros socioeconómicos de Argentina y Buenos Aires

Año	Argentina	Buenos Aires
	PIB per cápita (USD/habitante)	
2010	10 386	26 757
2011	12 849	33 204
2012	13 083	36 353
2013	13 080	38 281
2014	12 335	35 334
2015	13 789	40 118
2016	12 790	34 628
2017	14 613	39 915
2018	11 795	32 502
2019	10 057	28 006
2020	8 579	23 891
2021	12 997	24 474
2022	13 314	25 070
2023	13 633	25 671
2024	13 953	26 274
2025	14 276	26 881
2026	14 600	27 491
2027	14 925	28 104
2028	15 252	28 720
2029	15 580	29 338
2030	15 910	29 959

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a) & Banco de Desarrollo de América Latina (2022).

### Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de Buenos Aires

**Cuadro A3.2**  
Caracterización de la flota de automóviles y buses de la CABA

Año	Automóviles	Bus y buseta
2010	1 591 615	15 279
2011	1 545 019	14 928
2012	1 500 868	14 610
2013	1 457 220	14 260
2014	1 412 591	13 934
2015	1 362 547	13 566
2016	1 326 373	13 300
2017	1 277 688	12 872
2018	1 229 081	12 608
2019	1 183 156	12 204
2020	1 162 240	12 029

Fuente: Elaboración propia con base en ADEFA (2020).

## Evolución de los estándares de emisiones

**Cuadro A3.3**  
**Evolución de los estándares de emisiones para Argentina**

<b>Combustible</b>	<b>2004</b>	<b>2006</b>	<b>2009</b>	<b>2016</b>	<b>2018</b>
Diésel	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI

Fuente: Elaboración propia con base en Miller & Braun (2020).

## Anexo A4 Ciudad de México

### Parámetros socioeconómicos

**Cuadro A4.1**  
Proyección de parámetros socioeconómicos de México y CDMX

Año	México	CDMX
	PIB per cápita (USD/habitante)	
2010	9 271	21 887
2011	10 203	22 925
2012	10 242	22 452
2013	10 725	23 401
2014	10 929	22 023
2015	9 617	20 115
2016	8 745	17 500
2017	9 288	17 704
2018	9 687	17 766
2019	9 950	17 681
2020	8 329	14 852
2021	8 528	15 207
2022	8 731	15 569
2023	8 928	15 921
2024	9 119	16 260
2025	9 302	16 586
2026	9 477	16 899
2027	9 643	17 196
2028	9 801	17 478
2029	9 950	17 743
2030	10 089	17 990

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022a), INEGI (2021a; 2021b).

### Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de CDMX

**Cuadro A4.2**  
Caracterización de la flota de automóviles y buses de CDMX

Año	Automóviles	Microbús	Bus y buseta	Articulados y biarticulados
2010	4 028 300	28 626	3 255	506
2011	4 252 089	29 025	3 300	513
2012	4 455 914	27 702	3 150	489
2013	4 593 710	27 442	3 120	485
2014	4 421 797	27 565	3 134	487
2015	4 626 870	29 335	3 336	518
2016	4 806 901	28 692	3 263	507
2017	5 008 454	28 501	3 241	504
2018	5 278 405	28 196	3 206	498
2019	5 492 819	28 124	3 198	497
2020	5 535 792	28 207	3 207	498

Fuente: Elaboración propia con base en (Dallman, Du & Minjares, 2017; INEGI, 2020; Gobierno de la Ciudad de México, 2020).

## Evolución de los estándares de emisiones

**Cuadro A4.3**  
**Evolución de los estándares de emisiones para México**

<b>Combustible</b>	<b>2004</b>	<b>2008</b>	<b>2019</b>	<b>2021</b>
Diésel	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI

Fuente: Yang & He (2018).

## Anexo A5 Santiago

### Parámetros socioeconómicos

**Cuadro A5.1**  
Proyección de parámetros socioeconómicos de Chile y Santiago

Año	Chile	Santiago de Chile
	PIB per cápita (USD/habitante)	
2010	12 808	16 128
2011	14 637	16 202
2012	15 352	16 277
2013	15 843	16 387
2014	14 671	14 373
2015	13 574	12 746
2016	13 754	12 412
2017	14 999	12 831
2018	15 888	13 121
2019	14 742	11 830
2020	15 199	12 185
2021	15 671	12 550
2022	16 157	12 927
2023	16 639	13 314
2024	17 116	13 714
2025	17 588	14 125
2026	18 054	14 549
2027	18 513	14 985
2028	18 964	15 435
2029	19 407	15 898
2030	19 841	16 296

Fuente: Elaboración propia con base en Banco Central de Chile (2020) & Banco Mundial (2022a).

### Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de Santiago

**Cuadro A5.2**  
Caracterización de la flota de automóviles y buses de Santiago

Año	Automóviles	Microbús	Bus y buseta	Articulados
2010	947 251	342	4 771	1 451
2011	1 031 360	321	4 481	1 363
2012	1 110 276	329	4 577	1 392
2013	1 185 892	339	4 719	1 435
2014	1 281 785	39	5 048	1 426
2015	1 318 576	46	5 089	1 415
2016	1 367 433	27	5 217	1 402
2017	1 423 940	6	5 278	1 396
2018	1 502 297	6	5 358	1 392
2019	1 553 704	0	4 538	1 352
2020	1 504 177	0	5 878	1 103

Fuente: DTP (2021) & INE (2022).

**Evolución de los estándares de emisiones**

**Cuadro A5.3**  
**Evolución de los estándares de emisiones para Chile**

<b>Combustible</b>	<b>2004</b>	<b>2009</b>	<b>2012</b>	<b>2016</b>
Diésel	Euro III	Euro III con filtro	Euro V	Euro VI

Fuente: DTP & Transantiago Se Renueva (2017).

## Anexo A6

### São Paulo

#### Parámetros socioeconómicos

**Cuadro A6.1**  
Proyección de parámetros socioeconómicos de Brasil y São Paulo

Año	Brasil	São Paulo
	PIB per cápita (USD/habitante)	
2010	11 286	23 116
2011	13 245	26 731
2012	12 370	24 421
2013	12 300	23 797
2014	12 113	22 386
2015	8 814	16 501
2016	8 710	16 401
2017	9 929	18 201
2018	9 151	16 172
2019	8 898	15 920
2020	6 797	12 162
2021	6 857	12 269
2022	6 918	12 262
2023	6 963	12 254
2024	6 993	12 247
2025	7 006	12 239
2026	7 002	12 232
2027	6 979	12 224
2028	6 938	12 217
2029	6 877	12 210
2030	6 796	12 202

Fuente: Elaboración propia con base en IBGE (2019) & Banco Mundial (2022a).

#### Caracterización de la flota de automóviles y buses de la ciudad de São Paulo

**Cuadro A6.2**  
Caracterización de la flota de automóviles y buses de São Paulo

Año	Automóviles	Microbús	Bus y buseta	Articulados y Biarticulados
2010	4 617 635	5 381	6 991	2 631
2011	4 739 236	5 347	6 947	2 614
2012	4 839 921	5 370	6 977	2 625
2013	4 971 813	5 310	6 899	2 596
2014	5 160 727	5 307	6 896	2 595
2015	5 318 961	5 291	6 875	2 587
2016	5 442 775	5 294	6 878	2 588
2017	5 582 546	5 185	6 737	2 535
2018	5 729 252	5 038	6 546	2 463
2019	5 868 736	5 013	6 514	2 451
2020	5 955 433	5 040	6 548	2 464

Fuente: Elaboración propia con base en Dallmann (2019) & Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento São Paulo (2019).

## Evolución de los estándares de emisiones

**Cuadro A6.3**  
**Evolución de los estándares de emisiones para el Brasil**

<b>Combustible</b>	<b>2003</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2023</b>
Diésel	Euro II	Euro III	Euro V	Euro VI

Fuente: Elaboración propia con base en Transport Policy (2022).



Entre las medidas más destacadas para cumplir con las contribuciones determinadas a nivel nacional se encuentra el cambio de las tecnologías de motorización y la utilización de vehículos de bajas emisiones y de emisión cero. La inclusión de este tipo de vehículos debe estudiarse a nivel de las ciudades para analizar los beneficios energéticos y ambientales, y así iniciar la transición hacia la sostenibilidad del transporte. A partir de la revisión de planes desarrollados a nivel de los países y las ciudades, se identificó el proceso de reemplazo de las flotas de autobuses que funcionan con combustible diésel por autobuses eléctricos, con la intención de reducir las concentraciones de material particulado ( $PM_{2,5}$ ) y demás emisiones contaminantes que afectan la calidad de vida de los usuarios y de las personas que habitan en zonas urbanas.