



Crédito: Alexis Tostado, Unsplash



Crédito: MIT Chile

EVALUACIÓN DE BENEFICIOS INTEGRADOS DE POLÍTICAS DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN CIUDADES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

METODOLOGÍA Y REPORTE FINAL

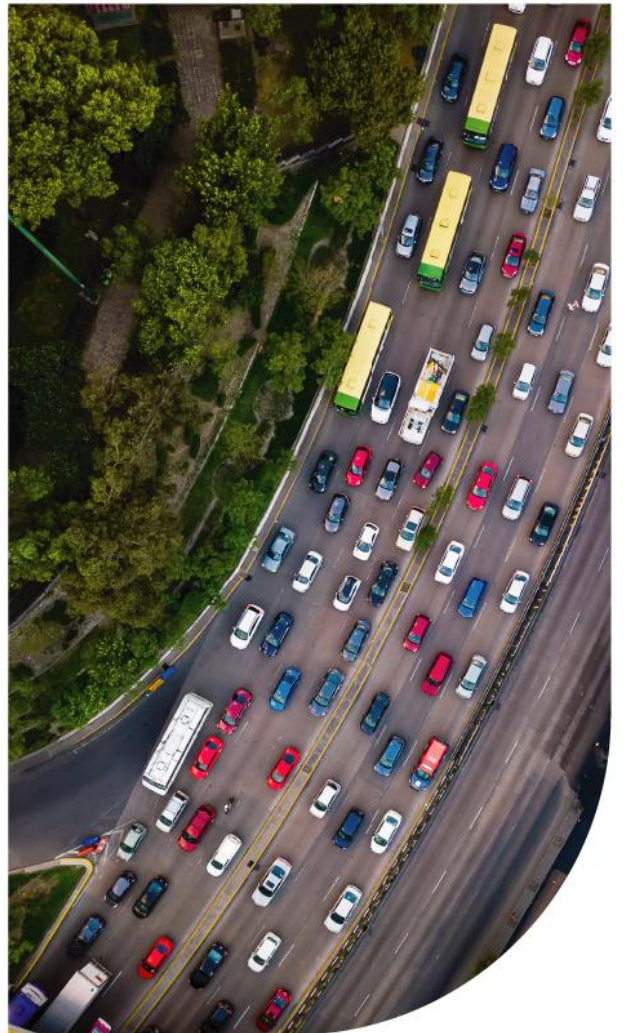


Foto: Carlos Bolívar

Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), diciembre 2019.



Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y en cualquier forma para servicios educativos o no lucrativos sin el permiso especial del poseedor de los derechos de autor, siempre que el reconocimiento de la fuente se haga. El Programa de la ONU para el Medio Ambiente agradecería recibir una copia de cualquier publicación que utilice esta publicación como fuente. No se podrá hacer uso de esta publicación para la reventa o cualquier otro propósito comercial sin permiso previo por escrito del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Las solicitudes para tal permiso, con una declaración del propósito y el alcance de la reproducción, deben dirigirse al director, División de Comunicación, Programa de la ONU para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe, Edificio 103, Calle Alberto Tejada, Ciudad del Saber, Clayton, Panamá.

No se podrá hacer uso de esta publicación para la reventa o cualquier otro propósito comercial sin permiso previo por escrito del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Las solicitudes para tal permiso, con una declaración del propósito y el alcance de la reproducción, deben dirigirse al director, División de Comunicación, Programa de la ONU para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe, Edificio 103, Calle Alberto Tejada, Ciudad del Saber, Clayton, Panamá.

Descargo de responsabilidad

El presente documento ha sido elaborado por el Clean Air Institute, contratados por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el apoyo financiero del Programa Euroclima+ de la Unión Europea. Su contenido es responsabilidad exclusiva de la “Evaluación de Beneficios Integrados de Políticas de la Movilidad Eléctrica en Ciudades de América Latina y el Caribe: Metodología y Reporte Final” y no necesariamente refleja los puntos de vista de la Unión Europea.

Este documento puede citarse como: PNUMA, Clean Air Institute (2019). Metodología para la Evaluación de Beneficios Integrados de Políticas de Movilidad Eléctrica y Resultados. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe, Panamá.

Directorio del Proyecto

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Gustavo Mañez. Coordinador Cambio Climático para América Latina y el Caribe

Esteban Bermúdez. Coordinador de Mitigación de Cambio Climático para América Latina y el Caribe

Mercedes García. Oficial de Programa Euroclima+

Jone Orbea. Líder de Movilidad Eléctrica

Juan Luis Pardo. Apoyo Técnico en Mitigación de Cambio Climático

La plataforma MOVE (movelatam.org) fue lanzada por la Oficina de América Latina y el Caribe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 2017 con el objetivo de acelerar la transición a la movilidad eléctrica en la región. MOVE brinda soporte y fortalece las capacidades de una multitud de actores clave para el desarrollo de políticas y mercados alineados con esta meta. Así mismo, apoya y potencia la voz de asociaciones ciudadanas comprometidas con el tema y genera conocimiento basado en la ciencia, con el fin de mostrar el estado del arte de las tecnologías de movilidad eléctrica en la región y en diferentes partes del mundo.

Clean Air Institute

Sergio Sánchez. Asesor de Alto Nivel en la Dirección del proyecto.

Juliana Klakamp. Jefe de Operaciones, coordinador de proyecto.

Paulina Schulz. Especialista en Análisis Integrados.

Isaac Medina. Especialista en Transporte.

Natalia Restrepo. Especialista en Emisiones.

Clean Air Institute (CAI) es una organización internacional con sede en Washington DC, cuya misión es catalizar procesos de mejora de la calidad del aire y mitigación del cambio climático a escalas local, nacional e internacional, para beneficiar a la salud pública y proteger al ambiente. Clean Air Institute cuenta con probada experiencia internacional en el desarrollo de políticas, desbloqueo de procesos, superación de barreras, vinculación de agencias y actores clave y desarrollo de bases técnicas para la implementación de soluciones integradas y de gran escala en los sectores de transporte, desarrollo urbano y energía, entre otros.

Abreviaciones

Instituciones

CAI Clean Air Institute

EEA European Environment Agency

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés)

OMS Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés)

Contaminantes

BC *Black Carbon* o Carbono Negro

CO₂ Dióxido de carbono

NO_x Óxidos de nitrógeno

PM Material particulado (por sus siglas en inglés)

PM_{2.5} Material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 µg/m³

SO₂ Dióxido de azufre

Otros

CNG Gas natural comprimido (por sus siglas en inglés)

µg/m³ Microgramos por metro cúbico

Contenidos

| | | |
|----|---|----|
| 1. | Aspectos generales..... | 1 |
| 2. | Metodología Propuesta | 1 |
| | 2.1 Emisiones y Factores de Emisión..... | 2 |
| | 2.2 Proyección del Parque Vehicular..... | 4 |
| | 2.3 Relación Emisión-Concentración..... | 8 |
| | 2.4 Fracciones de consumo (intake fractions)..... | 9 |
| | 2.5 Estimación de Beneficios en Salud..... | 10 |
| | 2.6 Valor de la Vida Estadística..... | 12 |
| 3. | Escenarios de movilidad eléctrica..... | 14 |
| | 3.1 Santiago..... | 17 |
| | 3.2 Ciudad de México..... | 18 |
| | 3.3 Buenos Aires..... | 19 |
| | 3.4 Cali | 19 |
| | 3.5 San José..... | 21 |
| 4. | Resultados..... | 22 |
| | 4.1 Santiago..... | 23 |
| | 4.2 Buenos Aires..... | 24 |
| | 4.3 CDMX | 25 |
| | 4.4 Cali | 26 |
| | 4.5 San José..... | 27 |
| 5. | Conclusiones | 28 |
| 6. | Referencias..... | 30 |
| 7. | Anexos..... | 32 |

1. Aspectos generales

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la contaminación del aire es el principal factor ambiental de riesgo sobre la salud, causando cerca de 4.3 millones de muertes al año en el mundo. Los efectos de la contaminación del aire afectan principalmente a la población vulnerable, niños menores de 5 años, adultos mayores y población con antecedentes respiratorios y cardiovasculares. En el ámbito urbano, el transporte representa una de las principales fuentes de exposición a contaminantes atmosféricos. Más allá, el sector transporte es una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes climáticos de vida corta.

En este contexto, las tecnologías eléctricas para el transporte urbano presentan el potencial para la reducción de emisiones atmosféricas y gases de efecto invernadero en el contexto urbano. Estas estrategias de transporte más limpio cuentan con importantes co-beneficios en salud, al reducir la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos y sus efectos nocivos. La evaluación de dichos beneficios integrales en cambio climático, calidad del aire y salud representa un importante instrumento para la toma de decisiones por parte de los gobiernos, inversionistas y partes interesadas.

A continuación, se presenta el esquema metodológico propuesto para la evaluación de beneficios integrados por la implementación de políticas de movilidad eléctrica. Esta metodología se fundamenta en un análisis de emisiones del escenario actual y tendencial sin intervención en movilidad eléctrica, en comparación con un escenario de implementación en el cual las ciudades incorporan tecnologías eléctricas en sus flotas.

2. Metodología Propuesta

Esta metodología se plantea como un ejercicio técnico a ser desarrollado a través de un esquema participativo con cinco ciudades piloto en América Latina: Buenos Aires (Argentina), Santiago (Chile), Ciudad de México (México), Cali (Colombia) y San José (Costa Rica). Este esquema de trabajo permitirá que las ciudades obtengan resultados relevantes y ajustados a sus características. Los resultados de la aplicación de esta metodología se presentarán como una guía para tomadores de decisiones y establecerán las bases para la aplicación en otras ciudades de esta metodología de evaluación.

La Figura 1 presenta un esquema de la metodología propuesta.

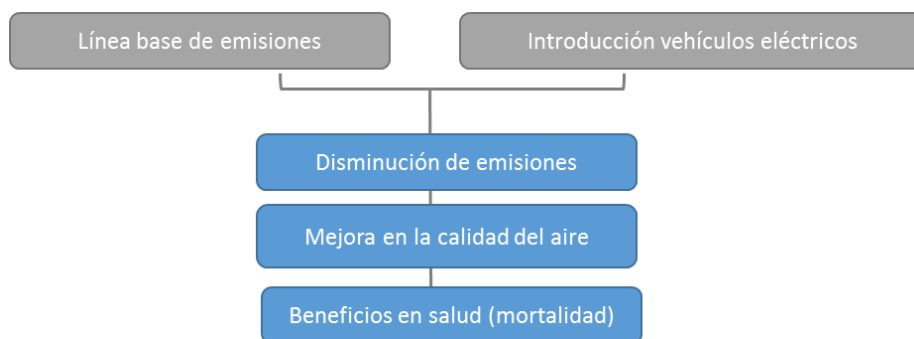


Figura 1. Esquema metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia

2.1 Emisiones y Factores de Emisión

Los contaminantes que aquí se consideran para la evaluación de emisiones son los contaminantes atmosféricos PM_{2.5}, NO_x y SO₂, además de carbono negro y CO₂ como contaminantes climáticos. La metodología para el cálculo de emisiones se basa en la guía de inventarios de contaminantes atmosféricos de la Agencia Ambiental Europea (European Environment Agency, 2016), de su capítulo “1.A.3.b.i-iv Road transport hot EFs Annex 2018”. El presente análisis sólo considera las emisiones en caliente que se expulsan por el tubo de escape de los vehículos, sin considerar emisiones debido a polvo resuspendido o a partidas en frío.

En términos generales, las emisiones vehiculares se calculan utilizando factores de emisión basados en EEA (2016) y niveles de actividad locales (kilómetros recorridos al año), como se muestra en la expresión (1).

$$E_i = \sum_s \sum_f FE_{ifs}(v) * NA_i \quad (1)$$

Donde:

E_i : Emisión vehículos tipo i

FE_{if} : Factor de emisión (depende de la velocidad), tipo de vehículo i, tipo de combustible f, y estándar de emisión tipo s (gr/Km)

NA_i : Nivel de actividad vehículo tipo i (km/año)

Las emisiones incluidas en el análisis a partir de factores de emisión son el material particulado, carbono negro y óxidos de nitrógeno (NO_x). Posteriormente, a partir del consumo de combustible se estiman las emisiones de óxidos de azufre (SO_x) y dióxido de carbono (CO₂). Las emisiones de SO₂ dependen tanto del consumo de combustible como del contenido de azufre de los mismos, mientras que el dióxido de carbono, además de depender del consumo de combustible, depende del tipo de combustible y de las emisiones de monóxido de carbono, de hidrocarburos y de material particulado.

Los kilogramos de CO₂ liberados por cada kg de combustible se presentan en la Tabla 1. Las emisiones de CO₂ se obtienen de la multiplicación del consumo de combustible por los valores indicados en la tabla.

Tabla 1. Kilogramos de CO₂ por kg de combustible, TIER 1

| Combustible | kg CO ₂ por kg de combustible |
|---------------|--|
| Petrol | 3.169 |
| Diesel | 3.169 |
| Petrol Hybrid | 3.169 |
| CNG | 2.743 |

Fuente: Tabla 3-12, EEA (2016)

Para el SO₂, las emisiones se relacionan tanto con el consumo de combustible como con el contenido de azufre en los mismos, mediante la ecuación (2).

$$E_{SO_2,m} = 2 * K_{S,m} * FC_m \quad (2)$$

Donde:

$E_{SO_2,m}$: Emisiones de SO₂ en combustible m [g]

$K_{S,m}$: Contenido de azufre en el combustible m [g/g combustible]

FC_m : Consumo de combustible m [g]

Para el análisis se consideró un contenido de azufre en diésel y en gasolina indicado en la Tabla 21 de Anexos.

Las emisiones de carbono negro se estiman como una fracción del material particulado según tipo de vehículo y combustible utilizado de acuerdo a los factores presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Carbono negro como fracción del material particulado, TIER 1

| Categoría de vehículos | f-BC |
|----------------------------|------|
| Petrol passenger cars | 0.12 |
| Petrol light duty vehicles | 0.05 |
| Diesel passenger cars | 0.57 |
| Diesel light duty vehicles | 0.55 |
| Diesel heavy duty vehicles | 0.53 |
| Petrol L-category | 0.11 |

Fuente: Tabla 3-11, EEA (2016)

Las emisiones del sector fueron proyectadas en el tiempo, considerando el crecimiento del parque automotor, evolución tecnológica de los vehículos (i.e. estándares de emisión), los combustibles utilizados y el nivel de actividad de los vehículos (Kilómetros recorridos). Cabe mencionar que las emisiones consideradas en este análisis incluyen solamente las emitidas por el tubo de escape de los vehículos, ya que las emisiones de polvo resuspendido en calles y desgaste de frenos y neumáticos se consideran iguales para el escenario de línea base y para el escenario con movilidad eléctrica. Además, no son consideradas las emisiones evaporativas, las emisiones de partidas en frío ni las emisiones indirectas asociadas al transporte y almacenamiento de combustibles.

2.2 Proyección del Parque Vehicular

El número de vehículos del parque vehicular fue obtenido de fuentes de información oficiales de cada país, según se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Fuente de datos del parque vehicular

| Ciudad, País | Año datos | Alcance geográfico | Fuente de información |
|--------------------------|-----------|-------------------------------|--|
| Santiago, Chile | 2002-2016 | Región Metropolitana | Número de vehículos en circulación, Instituto Nacional de Estadísticas ¹ |
| Ciudad de México, México | 2006-2017 | Ciudad de México (entidad 09) | Vehículos De Motor Registrados En Circulación, INEGI ² |
| Buenos Aires, Argentina | 2006-2016 | Provincia de Buenos Aires | Evolución del parque de automóviles, vehículos livianos, camiones y autobuses de Argentina. Observatorio Nacional de Datos de Transporte, Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial, Universidad Tecnológica Nacional ³ |
| Cali, Colombia | 2012-2017 | Santiago de Cali | Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ⁴ |
| San José, Costa Rica | 2009-2017 | Total país | Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Costa Rica, INEC ⁵ . Datos para San José se consideran como un 33% del parque total del país, utilizando la relación entre población total del país y población de la ciudad en 2018. |

Fuente: Elaboración propia

A partir de la información histórica de la evolución del número de vehículos (según tipo de vehículo) se ajustaron para cada categoría vehicular las tendencias logarítmicas para la proyección al año 2050. La Figura 2 presenta, como ejemplo, la proyección realizada para la categoría "Auto Particular" para la Ciudad de México.

¹ Datos disponibles en <https://www.ine.cl/estadisticas/economicas/transporte-y-comunicaciones>, consultado en Abril de 2019

² Datos disponibles en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/vehiculos-de-motor-registrados-en-circulacion/resource/43c64b6c-dd2d-415e-8e72-7a9535a30a5> consultado en Abril de 2019

³ Datos disponibles en <http://ondat.fra.utn.edu.ar/?p=931>, consultado en Abril de 2019

⁴ Datos disponibles en <https://www.datos.gov.co/Transporte/Parque-Automotor-Activo-E-Inactivo/frz-jbxh/data>, Consultado en Octubre de 2019

⁵ Datos disponibles en <http://www.inec.go.cr/documento/cuadro-951-costa-rica-vehiculos-automotores-en-circulacion-segun-estilo-2012-2015> consultado en Mayo de 2019

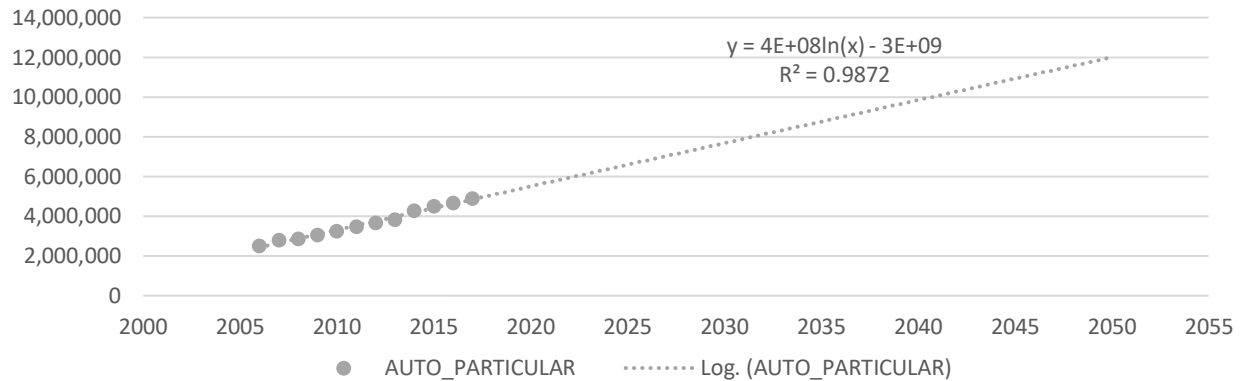


Figura 2. Datos 2006-2017 y proyección hasta 2050 de categoría Auto Particular, Ciudad de México

Posteriormente, las categorías vehiculares de cada país fueron asociadas a las categorías de los factores de emisión utilizadas por la Agencia Ambiental Europea (EEA por sus siglas en inglés). Estas categorías se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías vehiculares EEA

| Categoría vehicular | Descripción |
|-----------------------------------|--|
| Passenger Cars | Vehículos usados para el transporte de pasajeros, de no más de ocho asientos adicionales al del conductor |
| Light Commercial Vehicles < 3.5 t | Vehículos para el transporte de bienes, de peso no superior a 3.5 toneladas |
| Heavy-Duty Vehicles | Vehículos para el transporte de bienes, de peso superior a 3.5 toneladas. |
| L-Category | Vehículos livianos, incluyendo motocicletas, mini autos y algunos vehículos todo terreno. Para el presente análisis, esta categoría sólo considera motocicletas. |

Fuente: Elaboración propia en base a EEA (2016)

A modo de ejemplo, la Tabla 5 presenta la asignación entre categorías de la EEA y categorías utilizadas en México.

Tabla 5. Ejemplo de asignación entre categorías vehiculares de México y de la EEA

| Categorías México | Categorías EEA |
|----------------------|--|
| AUTO_OFICIAL | Passenger Cars |
| AUTO_PUBLICO | Light Commercial Vehicles |
| AUTO_PARTICULAR | Se subdivide para crear las categorías de "Taxis" y "Passenger Cars" |
| Taxis | Taxis* |
| CAM_PAS_OFICIAL | Buses |
| CAM_PAS_PUBLICO | Buses |
| Buses | Buses |
| Buses TP | Buses TP* |
| CAM_PAS_PARTICULAR | Se subdivide para crear las categorías de "Buses TP" |
| CYC_CARGA_OFICIAL | Heavy Duty Trucks |
| CYC_CARGA_PUBLICO | Heavy Duty Trucks |
| CYC_CARGA_PARTICULAR | Heavy Duty Trucks |
| MOTO_OFICIAL | L-Category |
| MOTO_DE_ALQUILER | L-Category |
| MOTO_PARTICULAR | L-Category |

Fuente: Elaboración propia

*Las categorías de taxis y buses de transporte público fueron creadas adicionalmente a las categorías vehiculares existentes en los datos de cada país, debido al especial interés sobre estas categorías para los escenarios de electro movilidad.

En la sección Anexos, la Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26 presentan el detalle de las asignaciones entre las categorías de parque original y las categorías EEA.

La distribución de la flota, de acuerdo con el tipo de combustible utilizado, se basó en información local tal y como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6. Fuente de datos para distribución según uso de combustible y nivel de actividad

| Ciudad | Fuente de información para distribución según uso de combustible y Nivel de actividad |
|------------------|--|
| Santiago | El nivel de actividad se basa en el Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas (MMA Chile, 2017) y la distribución según uso de combustible se basa en Generación de antecedentes para la evaluación técnica-económica a la aplicación de medidas de control para fuentes móviles en PPDA Región Metropolitana (GEASUR, 2015) |
| Ciudad de México | Se tomó como fuente de información el inventario de emisiones año base 2016 (Sedema, 2016). Los datos de km recorridos fueron tomados del documento preparado por Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018) como base para el inventario de emisiones de fuentes móviles para el año 2016. Si bien no se establece en el documento si el total de vehículos coincide con el dato total reportado por el inventario de emisiones global de la ciudad, se asume que los datos son concordantes al provenir de la misma entidad oficial. |
| Buenos Aires | Los datos de entrada se tomaron a partir de la información disponible para la flota circulante en Argentina para finales del año 2017, los cuales son avalados por la Cámara del Comercio Automotor (AFAC, 2018). Dado que esta información sólo se tiene disponible a nivel nacional, se realizó una estimación basados en la proporción de vehículos reportados para la ciudad de Buenos Aires. |
| Cali | Se tomó como fuente de información el inventario de emisiones año base 2017 (CVC - Fulecol, 2018). Debido a que la información del parque vehicular detallada no se encuentra disponible, se realizó una aproximación para el dato de kilómetros recorridos tomando como referencia este dato para una región similar en Colombia (Valle de Aburrá). (AMVA – UPB, 2018) |
| San José | Los datos de entrada se tomaron a partir de la información disponible para informe de las revisiones técnicas vehiculares realizadas en el año 2018 para Costa Rica (Riteve, 2018). Dado que esta información sólo se tiene disponible a nivel nacional, se realizó una estimación basados en la proporción de la población para la ciudad de San José. |

Fuente: Elaboración propia

Para la distribución según el estándar de emisión de la flota de cada ciudad, se tomaron en consideración los años de entrada en vigencia de los distintos estándares normativos de cada país, de acuerdo a las fuentes de información indicadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Fuente de datos para la distribución tecnológica del parque

| Ciudad | Fuente de información para distribución según estándar de emisión |
|------------------|---|
| Santiago | De acuerdo las normas de emisión para vehículos livianos, medianos y pesados y sus revisiones. Disponibles en www.leychile.cl , DS211/1991 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, DS 82/1993 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, DS 130/2001 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, DS 55/1994 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones y Resolución Exenta 155/2019 Ministerio del Medio Ambiente |
| Ciudad de México | La norma oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2006 establece los estándares a ser cumplidos en el país para los diferentes años en relación al parque vehicular. El reporte de la información tanto para México como para otros países de América Latina se consolida en el reporte del Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, 2014). |
| Buenos Aires | El reporte de la información para diferentes países de América Latina se consolida en el reporte del Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, 2014). |
| Cali | La información suministrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se consolida en el último inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA-UPB, 2018). |
| San José | Comunicación personal con Arturo Steinvorth-Alvarez de la organización Centro Para la Sostenibilidad Urbana. |

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 22 de Anexos presenta el detalle de los supuestos de vigencia de los estándares de emisión asumidos para la evaluación.

Otro de los criterios asumidos para este análisis consiste en que los vehículos que entran al parque automotor cada año cumplen el estándar de emisión vigente (explicitado en la Tabla 22). La tasa de entrada y salida de vehículos utilizadas para la proyección del estándar tecnológico fue homogénea para las cinco ciudades, con una tasa de entrada para vehículos livianos de 5% y de 3% para vehículos pesados. La tasa de retiro fue asumida constante, de 2% para antigüedades mayores a 10 años. Estos supuestos corresponden a una simplificación del análisis, para la realización de este análisis general de escenarios de movilidad eléctrica.

2.3 Relación Emisión-Concentración

Para determinar el impacto de las emisiones de contaminantes a la atmósfera y su impacto en la calidad del aire existen variadas herramientas disponibles, desde modelos aproximados y modelos de dispersión hasta modelos fotoquímicos. Por supuesto, mientras más compleja sea la herramienta utilizada, mayor será la necesidad de información y de recursos para realizar el análisis.

En el presente estudio se propone aplicar un método basado en fracciones de consumo, descrito a continuación, y un análisis de sensibilidad sobre los resultados obtenidos. De esta manera se da cuenta sobre los cambios en los resultados del análisis al variar los supuestos de evaluación.

2.4 Fracciones de consumo (“intake fractions”)

La estimación de los impactos en salud de la nueva normativa, necesariamente requiere vincular la reducción de emisiones con su impacto en la calidad del aire. Para determinar dicha relación se utiliza fracciones de consumo (o “intake fractions” en inglés) tomadas de la literatura internacional.

Las fracciones de consumo relacionan la masa del contaminante inhalado por la población expuesta, los cambios en concentración ambiental de PM_{2.5}, la tasa de respiración promedio y la tasa de emisiones, como se muestra en la expresión (3).

$$iF = \frac{\sum_{i=1}^N P_i * \Delta C_i * BR}{E} \quad (3)$$

Donde:

iF: “Intake Fraction” o fracción de consumo, expresada en masa de PM_{2.5} inhalados por tonelada de emisiones.

P_i: Población residente en la zona, donde *i* es la distancia a la Fuente emisora

ΔC_i : Cambio en concentración ambiental de PM_{2.5}

E: Tasa de emisión del contaminante

BR: Tasa de respiración promedio

Las fracciones de consumo para las cinco ciudades analizadas se basan en Apte et al. (2012). Este estudio analiza fracciones de consumo para el PM_{2.5} para más de 3.000 ciudades, representando todas las regiones del mundo. La Tabla 8 presenta las fracciones de consumo para el PM_{2.5} para las cinco ciudades analizadas.

Tabla 8. Fracciones de consumo PM_{2.5} cinco ciudades

| Ciudad2 | if (ppm) |
|--------------------------|----------|
| Buenos Aires, Argentina | 45 |
| Ciudad de México, México | 145 |
| Santiago, Chile | 39 |
| Cali, Colombia | 29.3 |
| San José, Costa Rica | 28.5 |

Fuente: (Apte et al., 2012)

Apte et al. (2012) permite estimar cambios en la concentración de $PM_{2.5}$ por cada tonelada emitida, reordenando los términos de la expresión (3), a partir de la fracción de consumo iF reportada para cada ciudad, como se presenta en la expresión (4).

$$\Delta C_{por\ ton} = \frac{iF}{Pob * BR} \quad (4)$$

Apte et al. (2012) permite cuantificar cambios en la concentración de $PM_{2.5}$ derivados de las emisiones directas de $PM_{2.5}$. Para incluir en el análisis el impacto de los principales precursores del $PM_{2.5}$ se sigue la recomendación del documento del Banco Mundial “*Local Environmental Externalities due to Energy Price Subsidies: A Focus on Air Pollution and Health*” (World Bank Group & ESMAP, 2017). Dicho documento propone utilizar el estudio Humbert et al. (2011) en combinación con Apte et al. (2012).

Humbert et al. (2011) analiza la literatura de fracciones de consumo desarrollada hasta la fecha y recomienda valores para emisiones directas de material particulado ($PM_{10-2.5}$, $PM_{2.5}$) y para los precursores SO_2 , NO_x y NH_3 . El estudio recomienda fracciones de consumo para fuentes urbanas, rurales y remotas, emitidas a nivel de suelo, chimeneas bajas y chimeneas altas. En el caso de las emisiones del transporte se consideran los valores para fuentes urbanas a nivel de suelo. La fracciones de consumo recomendadas en Humbert et al. (2011) se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Fracciones de consumo urbanas a nivel de suelo, Humbert et al. (2011)

| Tipo emisión | Contaminante | iF (ppm) |
|------------------------------|-------------------|----------|
| PM _{2.5} directo | PM _{2.5} | 44 |
| Precusores PM _{2.5} | SO ₂ | 0.99 |
| | NO _x | 0.2 |

Fuente: Tabla 3, Humbert et al. (2011)

Siguiendo a World Bank Group y ESMAP (2017), es posible obtener las fracciones de consumo para los contaminantes secundarios NO_x y SO_2 , utilizando la expresión (5).

$$iF_{precursor\ ciudad} = iF_{precursor\ Humbert\ et\ al.2011} * \frac{iF_{PM_{2.5}\ ciudad\ Apte\ et\ al.2012}}{iF_{PM_{2.5}\ Humbert\ et\ al.2011}} \quad (5)$$

2.5 Estimación de Beneficios en Salud

Para la estimación de los beneficios en salud se consideran los beneficios que se obtienen en el mejoramiento de la calidad del aire a causa de la implementación del escenario de electro movilidad frente al escenario de línea base. Los requerimientos de información para el cálculo de beneficios en salud son: a) caracterización de la población expuesta, incluyendo al menos la distribución según grupo etario; b) mortalidad de la población, distribuida según grupo etario, c) valoración estadística de la vida (VSL) local en caso de estar disponible.

Para la estimación de los beneficios en salud se considerará la mortalidad de largo plazo asociada a exposición al $PM_{2.5}$. Las dos funciones propuestas utilizan la mortalidad total, utilizando métricas de concentración y mortalidad anual, junto con funciones concentración-respuesta log lineares, según la expresión (6).

$$\Delta Y = Y_0 * (1 - e^{-\beta * \Delta PM_{2.5}}) * P_{ob} \quad (6)$$

Donde:

- ΔY : Cambio en mortalidad
 Y_0 : Tasa de mortalidad (incidencia) base
 β : Coeficiente de riesgo unitario
 P_{ob} : Población expuesta

La Tabla 10 presenta las funciones concentración-respuesta a utilizar en el análisis, indicando sus principales características.

Tabla 10. Funciones concentración respuesta a utilizar

| Autor | Ubicación estudio | Métrica PM _{2.5} | Rango edad | Beta | Error Estándar |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|------------|----------|----------------|
| Krewski et al. (2009) | 116 ciudades en Estados Unidos | Anual | 30-99 | 0.005827 | 0.000963 |
| Laden (2006) | 6 ciudades en Estados Unidos | Anual | 25-99 | 0.014842 | 0.004170 |

Fuente: Elaboración propia en base a (Krewski et al., 2009) y (Laden, Schwartz, Speizer, & Dockery, 2006)

Una vez cuantificada la mortalidad evitada utilizando las funciones concentración-respuesta, los beneficios son cuantificados utilizando el valor de la vida estadística o VSL, como se presenta en la expresión (7).

$$Beneficio = \Delta Y * VSL \quad (7)$$

Donde:

- Beneficio*: Beneficio de la reducción de la concentración ambiental de PM_{2.5} [\$]
VSL: Valor de la vida estadística (VSL por sus siglas en inglés) [\$/caso]
 ΔY : Casos de mortalidad prematura evitada

Para implementar la metodología, se utilizaron los datos de mortalidad de la OMS⁶ y las proyecciones de población del Banco Mundial (World Bank Group, 2019).

⁶ WHO mortality Database, http://apps.who.int/healthinfo/statistics/mortality/causeofdeath_query/start.php

2.6 Valor de la Vida Estadística

Asignar un valor a la mortalidad evitada es necesario para la estimación de los beneficios de políticas públicas que implicarían cambios en la mortalidad (Robinson et al. 2019).

Es importante aclarar que el valor de la vida estadística (VSL por sus siglas en inglés) no representa el valor de vidas individuales, si no que representa el beneficio económico de evitar mortalidad prematura desde la perspectiva de las preferencias individuales y bienestar. Mediante el enfoque de la disposición a pagar, el VSL representa el valor que grandes grupos de personas estarían dispuestas a pagar por reducciones de riesgo individual de morir en un año determinado, tal que en términos esperados se reduzca en promedio una muerte dentro de ese grupo de personas durante el año.

Para el presente análisis se aplicó la metodología de transferencia de VSL de acuerdo a Narain y Sall (2016), que a su vez se basa en el estudio OECD (2012). El estudio OECD (2012) propone valores para la valoración económica de mortalidad para ser utilizados en políticas públicas medioambientales, de salud y de transporte. Por otro lado, el documento del Banco Mundial, Narain y Sall (2016), proporciona recomendaciones específicas para el caso de efectos en salud derivados de la contaminación atmosférica.

La transferencia de VSL se implementa en dos pasos. Primero se actualiza el VSL de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) de acuerdo al crecimiento del producto Interno Bruto (PIB) per cápita e inflación, de acuerdo a la expresión (8) y luego transfiriendo el valor OCDE para cada uno de los cinco países, ajustando de acuerdo a la relación entre los PIB per cápita entre cada país y de países OCDE, utilizando la expresión (9).

$$VSL_{OECD\ 2017} = VSL_{OCDE\ 2005} * \left(\frac{PIB_{OCDE\ 2017}}{PIB_{OECD\ 2005}} \right)^\eta * (1 + inflacion_{2017-2005}) \quad (8)$$

$$VSL_{País\ 2017} = VSL_{OECD\ 2017} * \left(\frac{PIB_{País\ 2017}}{PIB_{OECD\ 2017}} \right)^\eta \quad (9)$$

El valor $VSL_{OCDE\ 2005}$ corresponde a 3 MMUSD para el año 2005 (OECD, 2012) y η corresponde a la elasticidad el ingreso. Se utiliza una elasticidad del ingreso de 0.8 para países de ingreso alto y de 1.2 para países de ingresos medios y bajos (Narain & Sall, 2016).

Tabla 11. Supuestos para transferencia de VSL y VSL para cada país

| País | GDP 2017 (2011 USD) | VSL 2017 (2011 USD) | Elasticidad η | Crecimiento PIB per cápita |
|------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
| Chile | 22,767 | 2.77 | 0.8 | 2.2% |
| Argentina | 18,932 | 1.78 | 1.2 | 1.3% |
| Mexico | 17,331 | 2.23 | 0.8 | 0.6% |
| Colombia | 13,183 | 1.15 | 1.2 | 2.8% |
| Costa Rica | 15,552 | 2.04 | 0.8 | 2.7% |

Fuente: Elaboración propia

Por último, el VSL se proyecta en el tiempo de acuerdo al crecimiento esperado del PIB per cápita de cada país, de acuerdo a la expresión (10).

$$VSL_t = VSL_{2017} * ((1 + Crecimiento\ PIB\ per\ cápita)^{t-2017})^\eta \quad (10)$$

Una vez calculados los flujos anuales, se calcula el valor presente de beneficios derivados de la mortalidad prematura evitada. El valor presente de una serie de flujos en el tiempo, t, están dado por la sumatoria de los flujos descontados, como se indica en la expresión (11).

$$Valor\ presente_{2019} = \sum_{t=2019}^{2030} \frac{F_t}{(1+r)^{t-2019}} \quad (11)$$

3. Escenarios de movilidad eléctrica

La reducción de emisiones para este análisis dependerá del número y tipo (buses, vehículos livianos, etc.) de vehículos eléctricos a introducir en las ciudades y de las características de los vehículos a los que reemplazarán. Mientras más contaminantes sean los vehículos retirados, mayor será el impacto de la introducción de vehículos eléctricos⁷.

Para la elaboración de los escenarios se realizó un pronóstico del número y porcentaje de distintos tipos de vehículos eléctricos que podrían estar circulando en 2030 y en 2050 para 5 ciudades latinoamericanas -Ciudad de México, Santiago de Chile, San José, Cali y Buenos Aires. Se realizaron tres tipos de pronósticos:

1. Un escenario creciente, pero marginalmente decreciente para reflejar el agotamiento de los mercados.
2. Un escenario de crecimiento lineal.
3. El número de vehículos que deberían estar circulando si las ciudades quisieran llegar a sus objetivos particulares de electrificación.

La ausencia de datos hizo que se tuvieron que realizar algunos supuestos del comportamiento de los mercados y la penetración de la electrificación en la movilidad. Algunos de manera transversal entre las ciudades y otros de manera particular para cada ciudad, dichos supuestos se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Datos tomados de fuentes secundarias

| Tipo de vehículo | Aplicó | Supuesto | Fuente |
|---------------------------------|---------------------------|---|--|
| Light Commercial Vehicles (LCV) | A todas las ciudades | En 2015 los LCV eléctricos representaron 1.5% del mercado total en el mundo y se espera que para 2030 representen el 10%. | Camilleri, P. (2018) What future for electric light commercial vehicles? a prospective economic and operational analysis of electric vans for business users, with a focus on urban freight |
| L-category vehicles | A todas las ciudades | En 2014 los electric L-category vehicles representaron 4% del mercado total. Para 2030 podrían representar 14% del mercado. | Santucci, Mario & Pieve, Marco & Pierini, Marco. (2016). Electric L-category Vehicles for Smart Urban Mobility. Transportation Research Procedia. 14. 3651-3660. 10.1016/j.trpro.2016.05.433. Powered Light Vehicles: Opportunities for Low Carbon 'L-Category' Vehicles in the UK |
| Heavy trucks | duty A todas las ciudades | En 2030 los electric heavy duty trucks podrían representar el 16% del mercado. | ELECTRIC TRUCK MARKET - GROWTH, TRENDS, AND FORECAST (2019 - 2024) |
| Buses | Buenos Aires | Para 2030 los buses eléctricos, distintos los utilizados para transporte público, podrían representar 9% del mercado. | Electric Bus Market Size and Forecast, By Product (Purely Electric, Plug-in Hybrid), By Region (China, Europe, U.S.), And Segment Forecast, 2015 - 2025 |

Fuente: Elaboración propia

⁷ Las emisiones a considerar en el análisis son las de los tubos de escape de los vehículos. No se consideran las emisiones relacionadas con la producción de electricidad

Primero se identificaron las metas, en términos de movilidad eléctrica, que tiene cada una de las ciudades para 2030 y/o para 2050. Dicha identificación se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Metas para la movilidad eléctrica por ciudad

| Ciudad | Metas | Fuente |
|------------------|--|--|
| Santiago | <ul style="list-style-type: none"> 2030: 10% de las ventas totales serán de vehículos eléctricos 2030: 2020-1,000, 2030-500,000, 2040-2M 2050-5M 2050: 100% del transporte público urbano 2050: 40% de vehículos particulares | <p>Ruta Energética 2018 – 2022. http://www.electromov.cl/2019/09/06/cinco-millones-de-vehiculos-electricos-en-chile-las-proyecciones-de-engie-en-electromovilidad/</p> <p>https://www.icare.cl/contenido-digital/automoviles-electricos-chile/</p> |
| Ciudad de México | <ul style="list-style-type: none"> 20% de la flota de transporte público será eléctrico 15% de las ventas de autos nuevos en 2030 son híbridos o eléctricos 80% de la flota de taxis y ERT son híbridos y/o eléctricos 30% de la nueva flota de vehículos utilitarios es híbrida o eléctrica 30% de los sistemas de bicicletas compartidas son eléctricas | Estrategia de electromovilidad de la Ciudad de México 2018 – 2030. |
| Buenos Aires | <ul style="list-style-type: none"> 2025: 10% de vehículos eléctricos 2030: 20% de vehículos eléctricos 2050: se triplicará el número de autos eléctricos | Movilidad Eléctrica Oportunidades Para Latinoamérica. |
| Cali | <ul style="list-style-type: none"> A partir de 2025, mínimo el diez (10) por ciento de los vehículos adquiridos A partir de 2027, mínimo el veinte (20) por ciento de los vehículos adquiridos. A partir de 2029, mínimo el 40% por de los vehículos adquiridos. A partir de 2031, mínimo el 60% de los vehículos adquiridos. A partir de 2033, mínimo el 80% de los vehículos adquiridos. A partir de 2035, mínimo el 100% de los vehículos adquiridos. | Ley 1964 Colombia de 2019. |
| San José | <p>Transporte público</p> <ul style="list-style-type: none"> 2035: 70% de los buses y taxis serán cero emisiones, TRP operará 100% eléctrico 2050: sistema de transporte sustituirá a vehículos privados como principal opción de movilidad 2050: 100% de buses y taxis serán cero emisiones. <p>Flota vehicular</p> <ul style="list-style-type: none"> 2035: 25% de la flota vehicular será eléctrica 2050: 100% de las ventas de vehículos ligeros nuevos será de vehículos cero emisiones y el 60% de la flota de vehículos ligeros -privados y públicos- será cero emisiones. <p>Transporte de carga</p> <p>2050: Al menos el 50% del transporte de carga será altamente eficiente y habrá reducido emisiones en un 20% con respecto a emisiones del 2018</p> | <p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <p>LEY INCENTIVOS Y PROMOCIÓN PARA EL TRANSPORTE ELÉCTRICO.</p> |

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes figuras se presenta a manera de ejemplo el pronóstico para autos eléctricos de pasajeros utilizado para la proyección del parque. En la Figura 3 se muestran los resultados con un crecimiento

marginalmente decreciente; y en la Figura 4 con un crecimiento lineal. Línea naranja acumulado (eje derecho).

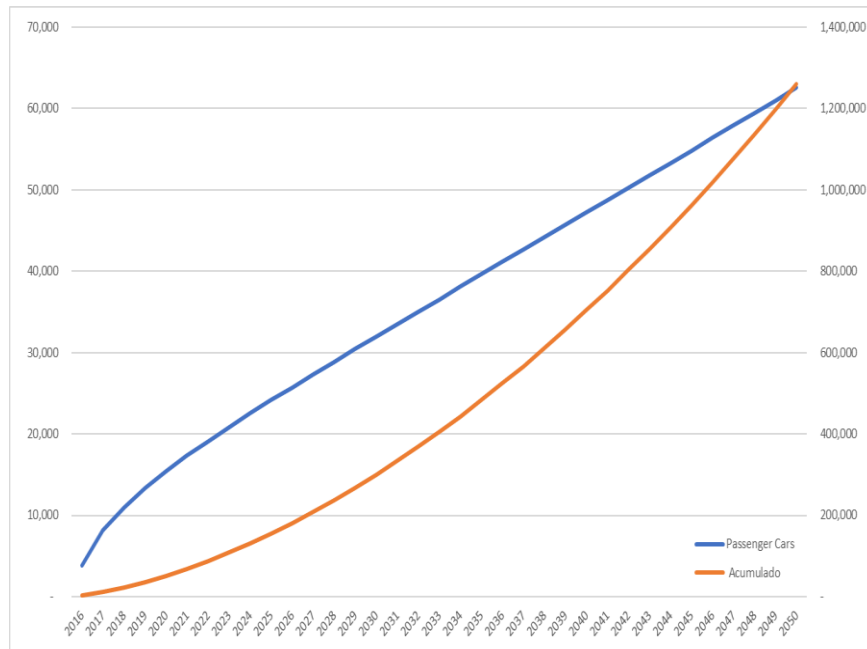


Figura 3. Pronóstico para autos eléctricos de pasajeros con crecimiento marginal decreciente

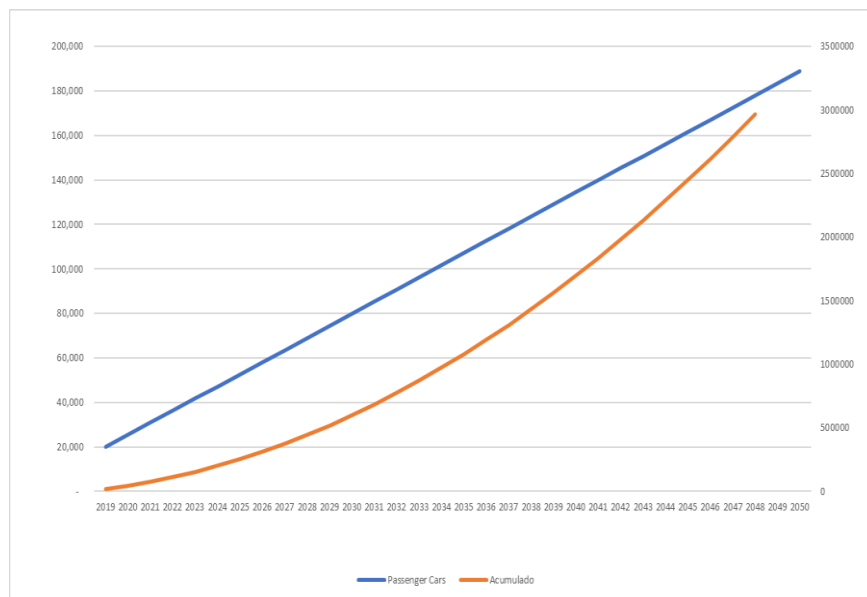


Figura 4. Pronóstico para autos eléctricos de pasajeros con crecimiento lineal

A continuación, se presenta la metodología de cálculo y los escenarios propuestos por ciudad:

3.1 Santiago

Los datos de vehículos eléctricos particulares, así como taxis o autobuses de transporte público se obtuvieron de fuentes periodísticas dada la escasez de fuentes locales o nacionales sobre movilidad eléctrica. Se realizaron las proyecciones para 2030 y 2050. Para las proyecciones se supuso que los buses tendrán un nivel de penetración al mercado similar al observado en buses de transporte público, y para los *heavy duty trucks* se supuso la misma penetración que los vehículos ligeros comerciales. Para los taxis se fijó la misma meta que la ciudad tiene para vehículos particulares. Dado que la ciudad no tiene metas para los *Heavy Duty Trucks* ni *L-Category* ni *Light Commercial Vehicles* se consideró como meta alcanzar los porcentajes que se presentan en la Tabla 12. Las proyecciones se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Proyecciones para Santiago de Chile

| Porcentaje de eléctricos | Escenario creciente pero marginalmente decreciente | | | | Escenario creciente lineal | | | | Escenario para alcanzar las metas de Santiago | | | |
|---------------------------|--|---------|------------|--------|----------------------------|---------|------------|--------|---|-----------|------------|------|
| | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | |
| Santiago | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Buses | 18,619 | 58,291 | 42.30 | 100.00 | 44,017 | 58,291 | 100.00 | 100.00 | 20,684 | 58,291 | 47 | 100 |
| Heavy Duty Trucks | 9,812 | 37,005 | 11.59 | 31.06 | 35,356 | 119,127 | 41.75 | 100.00 | 13,549 | 38,185 | 16 | 32 |
| L-Category | 35,356 | 133,944 | 19.48 | 43.91 | 35,356 | 133,944 | 19.48 | 43.91 | 25,413 | 71,617 | 14 | 23 |
| Light Commercial Vehicles | 65,060 | 216,557 | 13.72 | 31.82 | 65,060 | 216,557 | 13.72 | 31.82 | 47,418 | 133,633 | 10 | 20 |
| Passenger Cars | 4,088 | 12,808 | 0.19 | 0.39 | 6,498 | 34,288 | 0.30 | 1.04 | 468,107 | 1,318,757 | 22 | 40 |
| Taxis | 976 | 3,681 | 2.19 | 7.66 | 2,340 | 48,057 | 5.24 | 100.00 | 6,821 | 19,222 | 15 | 40 |
| Buses TP | 1,480 | 4,294 | 42.05 | 100. | 3,520 | 4,294 | 100.00 | 100.00 | 1,789 | 4,314 | 51 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

3.2 Ciudad de México

Para poder realizar las proyecciones fue necesario conocer la cantidad de automóviles eléctricos que se vendieron en años anteriores, para ello se utilizó la base de datos de *Venta de vehículos eléctricos e híbridos* del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El número de taxis y buses de transporte público eléctricos en circulación no es un dato público por lo que se tomaron datos de fuentes periodísticas. Teniendo los datos iniciales se realizaron proyecciones logarítmicas para expresar el agotamiento de los mercados y proyecciones lineales suponiendo que se le da promoción al uso de la movilidad eléctrica y los costos siguen disminuyendo. Para las proyecciones se supuso que los Buses tendrán un nivel de penetración al mercado similar al observado en buses de transporte público, y para los *heavy duty trucks* se supuso la misma penetración que los vehículos ligeros comerciales. Dado que la ciudad no tiene metas para los *Heavy Duty Trucks* ni *L-Category* ni *Light Commercial Vehicles* se consideró como meta alcanzar los porcentajes que se presentan en la Tabla 12. Los pronósticos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Pronósticos para la Ciudad de México

| Porcentaje de eléctricos | Escenario creciente pero marginalmente decreciente | | | | Escenario creciente lineal | | | | Escenario para alcanzar las metas de CDMX | | | |
|---------------------------|--|-----------|------------|--------|----------------------------|-----------|------------|--------|---|---------|------------|------|
| | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | |
| CDMX | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Buses | 511 | 2,070 | 5.27% | 15.24% | 920 | 7,827 | 9.49% | 57.63% | 912 | 2,432 | 9% | 18% |
| Heavy Duty Trucks | 7,177 | 26,795 | 10.45% | 50.56% | 4,083 | 34,536 | 5.95% | 65.17% | 11,245 | 29,987 | 16% | 57% |
| L-Category | 10,324 | 18,153 | 2.00% | 2.00% | 77,615 | 350,763 | 15.04% | 38.64% | 72,265 | 166,912 | 14% | 18% |
| Light Commercial Vehicles | 2,441 | 3,469 | 1.30% | 1.30% | 21,043 | 78,610 | 11.21% | 29.46% | 18,774 | 43,160 | 10% | 16% |
| Passenger Cars | 300,016 | 1,259,392 | 4.11% | 11.05% | 444,597 | 2,969,391 | 6.09% | 26.04% | 70,434 | 163,255 | 1% | 1% |
| Taxis | 1,986 | 6,547 | 0.52% | 1.09% | 3,685 | 25,755 | 0.96% | 4.29% | 307,194 | 600,107 | 80% | 100% |
| Buses TP | 2,029 | 7,640 | 5.73% | 15.42% | 3,420 | 28,860 | 9.66% | 58.24% | 7,719 | 20,479 | 22% | 41% |

Fuente: Elaboración propia

3.3 Buenos Aires

Para los datos sobre vehículos eléctricos particulares, taxis eléctricos, buses de transporte público eléctricos y vehículos ligeros comerciales se recurrió a fuentes periodísticas. Para las proyecciones se supuso que los buses tendrán un nivel de penetración en el mercado similar al observado en buses de transporte público, y para los *heavy duty trucks* se supuso la misma penetración que los vehículos ligeros comerciales. Dado que la ciudad no tiene metas para Buses, *Heavy Duty Trucks* ni *L-Category* ni *Light Commercial Vehicles* se consideró como meta alcanzar los porcentajes que se presentan en la Tabla 12, y datos de la *Hoja de ruta y evaluación del impacto en infraestructura para introducir la electromovilidad en Buenos Aires*. Las proyecciones se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Proyecciones para Buenos Aires

| Porcentaje de eléctricos | Escenario creciente pero marginalmente decreciente | | | | Escenario creciente lineal | | | | Escenario para alcanzar las metas de Buenos Aires | | | |
|---------------------------|--|---------|------------|--------|----------------------------|---------|------------|--------|---|-----------|------------|------|
| | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | |
| Buenos Aires | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Buses | 3,248 | 12,248 | 7.38% | 21.01% | 7,719 | 52,249 | 17.54% | 89.64% | 3,962 | 11,164 | 9% | 19% |
| Heavy Duty Trucks | 9,585 | 36,148 | 11.32% | 30.34% | 7,149 | 48,395 | 8.44% | 40.62% | 13,549 | 38,185 | 16% | 32% |
| L-Category | 37,493 | 136,080 | 20.66% | 44.61% | 37,493 | 136,080 | 20.66% | 44.61% | 25,413 | 71,617 | 14% | 23% |
| Light Commercial Vehicles | 69,602 | 221,100 | 14.68% | 32.49% | 69,602 | 221,100 | 14.68% | 32.49% | 47,418 | 133,633 | 10% | 20% |
| Passenger Cars | 1,301 | 4,908 | 0.06% | 0.15% | 3,120 | 21,120 | 0.14% | 0.64% | 430,283 | 1,212,542 | 20% | 37% |
| Taxis | 65 | 245 | 0.15% | 0.51% | 156 | 1,056 | 0.35% | 2.20% | 8,924 | 25,146 | 20% | 52% |
| Buses TP | 260 | 982 | 7.40% | 22.86% | 624 | 4,224 | 17.73% | 98.37% | 3,527 | 4,294 | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que para Buenos Aires las proyecciones de vehículos eléctricos en las categorías de Taxis y Buses de Transporte Público son bajas a los años 2030 y 2050, ya que la ciudad ha tenido a la fecha un inicio en la incorporación de autos eléctricos a una velocidad baja. Si bien, se resaltan las buenas intenciones del Gobierno en este aspecto, la velocidad de implementación es baja. Es importante a demás notar que en el año 2019 el número de taxis en circulación, según notas periodísticas, es muy bajo. Esto, aunado a la falta de infraestructura para la movilidad eléctrica, hace que los pronósticos sean “relativamente bajos”. De la misma manera ocurre para los Buses de Transporte Público, categoría que en el año 2019 cuenta con sólo 8 unidades en circulación.

3.4 Cali

Los datos iniciales de vehículos eléctricos se obtuvieron del Informe de Vehículos Eléctricos e Híbridos de la ANDI. Y los datos de unidades de transporte público eléctricas de fuentes periodísticas. Para las proyecciones se supuso que los Buses tendrán un nivel de penetración al mercado similar al observado en buses de transporte público, y para los *heavy duty trucks* se supuso la misma penetración que los vehículos ligeros comerciales. Dado que la ciudad no tiene metas para los *Heavy Duty Trucks* ni *L-Category* ni *Light Commercial Vehicles* se consideró como meta alcanzar los porcentajes que se presentan en la Tabla 12, la ciudad tampoco tiene metas para taxis ni para vehículos particulares por lo que se supuso que la meta era similar a la que se tiene para autobuses de transporte público. Las proyecciones se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Proyecciones para Cali

| Porcentaje de eléctricos | Escenario creciente pero marginalmente decreciente | | | | Escenario creciente lineal | | | | Escenario para alcanzar las metas de Cali | | | |
|---------------------------|--|---------|------------|---------|----------------------------|---------|------------|--------|---|---------|------------|------|
| | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | |
| Cali | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Buses | 16,023 | 19,839 | 92.45% | 100.00% | 5,805 | 15,480 | 33.49% | 78.03% | 774 | 2,182 | 4% | 11% |
| Heavy Duty Trucks | 3,589 | 13,296 | 11.68% | 29.15% | 2,590 | 17,530 | 8.43% | 38.44% | 4,916 | 13,854 | 16% | 30% |
| L-Category | 87,218 | 317,246 | 20.62% | 44.54% | 87,218 | 317,246 | 20.62% | 44.54% | 59,204 | 166,848 | 14% | 23% |
| Light Commercial Vehicles | 3 | 6 | 18.03% | 52.62% | 3 | 6 | 18.03% | 52.62% | 3 | 9 | 20% | 72% |
| Passenger Cars | 2,063 | 7,764 | 0.24% | 0.57% | 4,927 | 33,297 | 0.58% | 2.47% | 52,447 | 147,806 | 6% | 11% |
| Taxis | 33 | 123 | 0.13% | 0.31% | 78 | 528 | 0.31% | 1.33% | 1,543 | 4,350 | 6% | 11% |
| Buses TP | 911 | 1,122 | 90.86% | 100.00% | 336 | 896 | 33.51% | 79.88% | 11 | 121 | 1% | 11% |

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que, en Cali las condiciones iniciales en términos de taxis eléctricos para el año 2019 son bajas. La ausencia de datos hizo que se supusiera que en 2019 entró en circulación un taxi eléctrico. Dado que en la actualidad existen solamente dos estaciones de carga, este escenario refleja el agotamiento de los mercados o la falta de impulso de políticas.

3.5 San José

Los datos sobre la cantidad de autos eléctricos particulares y de taxis se obtuvieron de la Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica (ASOMOVE). Para los datos de buses de transporte público eléctricos se tomaron los pilotos que está llevando GIZ. Adicionalmente, para las proyecciones se supuso que los buses tendrán un nivel de penetración al mercado similar al observado en buses de transporte público, y para los *heavy duty trucks* se supuso la misma penetración que los vehículos ligeros comerciales. Se supuso además que los buses tenían la misma meta que los buses de transporte público y dado que no se consideran metas para los *heavy duty trucks* ni L-Category, se consideró como meta el pronóstico de la Tabla 12. Con los datos iniciales se realizaron las proyecciones que se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Proyecciones para San José

| Porcentaje de eléctricos | Escenario creciente pero marginalmente decreciente | | | | Escenario creciente lineal | | | | Escenario para alcanzar las metas de San José | | | |
|---------------------------|--|---------|------------|--------|----------------------------|---------|------------|---------|---|---------|------------|------|
| | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | | Cantidad | | Porcentaje | |
| San José | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Buses | 1,286 | 4,530 | 19.72% | 47.63% | 2,918 | 9,511 | 44.76% | 100.00% | 4,599 | 9,511 | 71% | 100% |
| Heavy Duty Trucks | 14,049 | 48,744 | 11.51% | 26.44% | 10,310 | 69,793 | 8.45% | 37.86% | 19,523 | 52,061 | 16% | 28% |
| L-Category | 34,413 | 132,517 | 19.28% | 43.39% | 34,413 | 132,517 | 19.28% | 43.39% | 24,994 | 66,651 | 14% | 22% |
| Light Commercial Vehicles | 17,430 | 60,859 | 3.76% | 8.52% | 35,984 | 223,344 | 7.77% | 31.27% | 115,749 | 324,805 | 25% | 45% |
| Passenger Cars | 33 | 123 | 0.81% | 3.01% | 78 | 528 | 1.94% | 12.97% | 2,822 | 4,070 | 70% | 100% |
| Taxis | 98 | 368 | 18.80% | 48.62% | 234 | 757 | 45.08% | 100.00% | 365 | 757 | 70% | 100% |
| Buses TP | 1,286 | 4,530 | 19.72% | 47.63% | 2,918 | 9,511 | 44.76% | 100.00% | 4,599 | 9,511 | 71% | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las proyecciones de San José, cabe resaltar que, en el año 2019, según datos de ASOMOVE, en la ciudad circulaba sólo un taxi eléctrico. Este inicio relativamente bajo hace que los escenarios parezcan bajos, sin embargo, podrían tomarse como una cota inferior ante ausencia de políticas para incentivar la movilidad eléctrica.

4. Resultados

Como consecuencia de este análisis, cuyas consideraciones se expusieron anteriormente, en la siguiente tabla se presentan los beneficios, en términos de reducción de emisiones acumuladas que se obtienen en cada una de las ciudades estudiadas a raíz del fomento de la movilidad eléctrica como alternativa de transporte de manera proyectada para los años 2030 y 2050⁸:

Tabla 19. Reducción de emisiones acumulada de los contaminantes analizados por el fomento de la movilidad eléctrica (toneladas)

| | Santiago de Chile | | Buenos Aires | | Ciudad de México | | Cali | | San José | |
|--|-------------------|---------|--------------|---------|------------------|---------|--------|--------|----------|---------|
| | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Material particulado* | 3,046 | 15,422 | 2,923 | 14,706 | 880 | 6,448 | 847 | 4,402 | 2,208 | 10,676 |
| SO ₂ | 167 | 1,083 | 5,825 | 35,902 | 39 | 411 | 53 | 304 | 197 | 1253 |
| NO _x | 82,888 | 428,739 | 63,598 | 317,016 | 20,505 | 123,640 | 13,982 | 72,923 | 45,907 | 229,344 |
| CO ₂ (millones de toneladas) | 17.7 | 114.4 | 14.2 | 83.0 | 3.4 | 33.7 | 2.6 | 16.5 | 6.3 | 39.9 |
| Carbono negro | 1,626 | 8,233 | 1,606 | 8,078 | 341 | 2,846 | 396 | 2,048 | 1,192 | 5,751 |
| CH ₄ | 108,107 | 553,052 | 38,918 | 178,365 | 3,045 | 43,738 | 5,242 | 26,652 | 19,499 | 89,257 |

*Proveniente del tubo de escape de los vehículos

Puede observarse que los resultados arrojan importantes reducciones en las emisiones, que se reflejan en casos de mortalidad evitada acumulada para cada una de las ciudades tal y como se muestra a continuación:

Tabla 20. Casos evitados de mortalidad por el fomento de la movilidad eléctrica en ciudades de América Latina

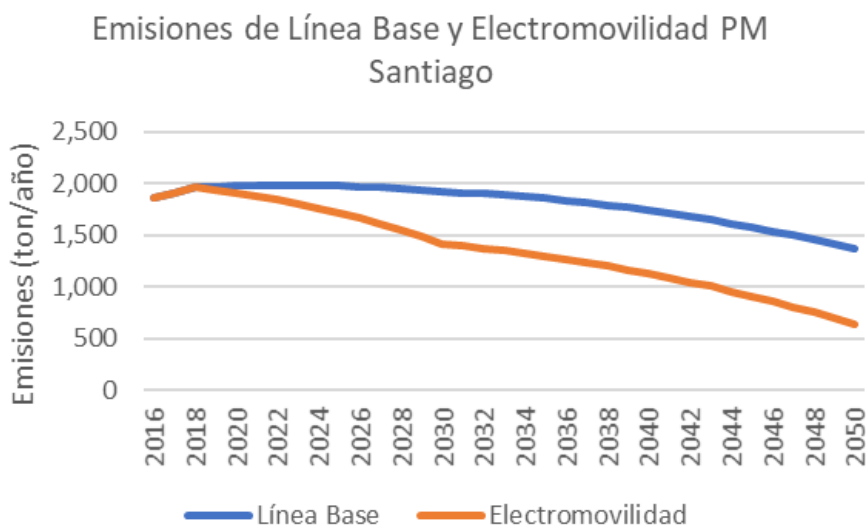
| | Santiago de Chile | | Buenos Aires | | Ciudad de México | | Cali | | San José | |
|------------------------------|-------------------|--------|--------------|--------|------------------|--------|------|-------|----------|-------|
| | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 | 2030 | 2050 |
| Casos evitados de mortalidad | 2,514 | 13,308 | 3,576 | 19,024 | 2,294 | 18,136 | 383 | 2,122 | 931 | 4,701 |

⁸ Los resultados para 2050 que se incluyen como parte de este reporte, son de carácter ilustrativo.

De manera particular se presentan los siguientes resultados para cada ciudad:

4.1 Santiago

- Para la ciudad de Santiago de Chile, los escenarios de movilidad eléctrica indican que para 2030 se habrían evitado 3,406 toneladas de PM_{2.5}. Ello prevendría de manera acumulada 2,514 muertes atribuibles. Esto se traduciría directamente en un ahorro de 10,634 millones de dólares⁹. Para 2030, los escenarios de movilidad eléctrica indican que se habrá evitado la emisión acumulada de 167 toneladas de SO₂, casi 83 mil toneladas de NO_x, 17.7 millones de CO₂, 1,626 toneladas de Carbono Negro y 108 mil toneladas de CH₄ a la atmósfera.
- Las proyecciones al año 2050 indican que la reducción de material particulado a este año puede ascender a 15,422 toneladas, evitando así 13,308 muertes atribuibles a la contaminación atmosférica.
- De acuerdo con los escenarios analizados en este estudio, la reducción de emisiones de PM_{2.5} y de CO₂ será encabezada por el cambio en la flota de autobuses principalmente, y en menor medida de la electrificación de los vehículos particulares.
- Es importante destacar que la ciudad ha realizado esfuerzos importantes en la promoción del transporte público eléctrico, esto ha tenido como resultado que en las proyecciones para 2030 esté muy cerca de cumplir con sus metas establecidas.
- La proyección de las emisiones vehiculares de la línea base y del escenario que contempla la implementación de movilidad eléctrica se representa así:



⁹ Valor presente beneficios de mortalidad evitada entre 6,138 y 15,130 millones de dólares.

Figura 5. Reducción de emisiones vehiculares de material particulado proyectado a 2050 en Santiago para cada año

4.2 Buenos Aires

- Los escenarios indican que para 2030 la movilidad eléctrica podría de evitar la emisión de 2,923 toneladas de material particulado. Ello evitaría la muerte prematura de 3,576 personas. Esto implicaría un ahorro para la sociedad de 9,400 millones de dólares¹⁰. Además, dichos escenarios estiman que, para el mismo año, la movilidad eléctrica habrá evitado la emisión de 5,825 toneladas de SO₂, 63.6 miles de toneladas NO_x, 14.2 millones de toneladas de CO₂, 1,606 toneladas de Carbono Negro y 38.9 miles de toneladas de CH₄ a la atmósfera.
- Las proyecciones al año 2050 indican que la reducción de material particulado a este año puede ascender a 14,706 toneladas, evitando así 19,024 muertes atribuibles a la contaminación atmosférica.
- La disminución del PM_{2.5} vendría principalmente del cambio de flota de vehículos particulares y autobuses. El cambio en la flota de vehículos particulares y los vehículos pesados sería la razón de la mayoría de las emisiones evitadas de CO₂.
- La proyección de las emisiones vehiculares de la línea base y del escenario que contempla la implementación de movilidad eléctrica se representa así:

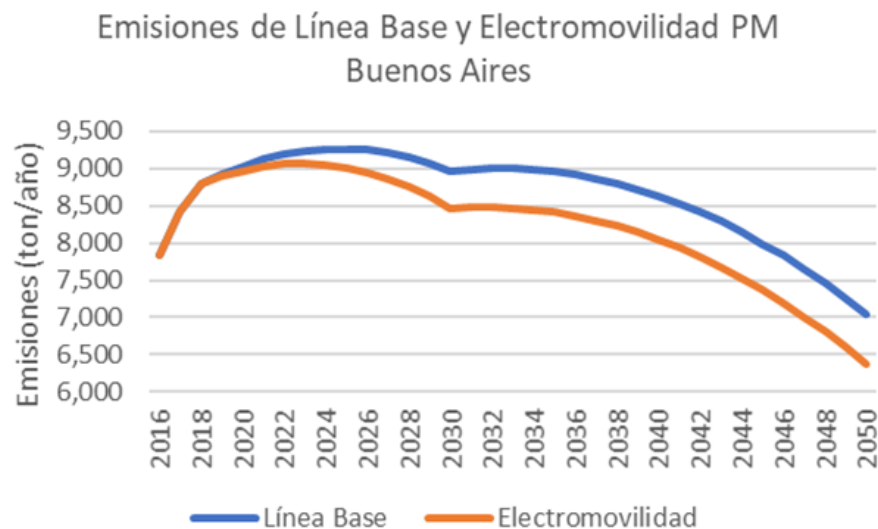


Figura 6. Reducción de emisiones vehiculares de material particulado proyectado a 2050 en Buenos Aires para cada año

¹⁰ Valor presente beneficios de mortalidad evitada entre 5,353 y 13,447 millones de dólares.

4.3 CDMX

- Para la Ciudad de México a 2030, los escenarios de movilidad eléctrica permitirían evitar la emisión de contaminantes criterio (material particulado) en 880 toneladas. Ello se traduciría en 2,294 muertes atribuibles evitadas en la CDMX. También se reflejaría en un ahorro de 8,385 millones de dólares¹¹ en costos de salud. Adicionalmente, los escenarios de movilidad eléctrica indican que para 2030 se habría evitado la emisión de 39 toneladas de SO₂, 20.5 miles de toneladas NO_x, 3.4 miles de toneladas de CO₂, 341 toneladas de Carbono Negro y 3,405 toneladas de CH₄ a la atmósfera.
- Las proyecciones al año 2050 indican que la reducción de material particulado a este año puede ascender a 6,448 toneladas, evitando así 18,136 muertes atribuibles a la contaminación atmosférica.
- La proyección de las emisiones vehiculares de la línea base y del escenario que contempla la implementación de movilidad eléctrica se representa así:

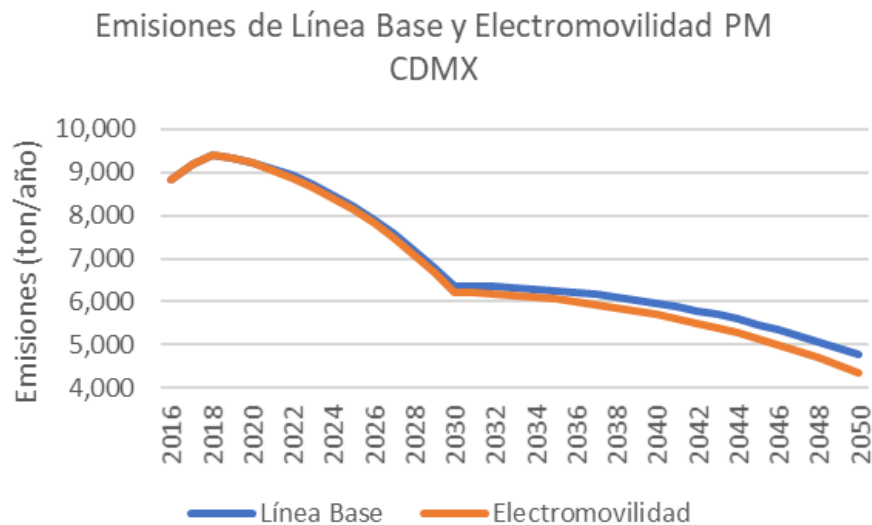


Figura 7. Reducción de emisiones vehiculares de material particulado proyectado a 2050 en la Ciudad de México para cada año

¹¹ Valor presente beneficios de mortalidad evitada entre 4,8277 y 11,943 millones de dólares.

4.4 Cali

- Este estudio encontró que, considerando los escenarios analizados en este estudio, la movilidad eléctrica podría evitar para 2030 la emisión de 847 toneladas de PM_{2.5}. Ello podría evitar la muerte prematura de 383 personas. Esto tendría un beneficio monetario de 914 millones de dólares¹². Aunado a lo anterior, la movilidad eléctrica en la ciudad podría evitar la emisión de alrededor de 53 toneladas de SO₂, más de 13 mil toneladas de NO_x, 2.6 millones de toneladas de CO₂, 396 toneladas de Carbono Negro y 5,242 toneladas de CH₄ emitidas a la atmósfera.
- Las proyecciones al año 2050 indican que la reducción de material particulado a este año puede ascender a 4,402 toneladas, evitando así 2,122 muertes atribuibles a la contaminación atmosférica.
- En Cali, los pronósticos indican que el cambio en la flota de vehículos particulares y autobuses estará relacionado con la mayoría de las reducciones de material particulado y CO₂.
- La proyección de las emisiones vehiculares de la línea base y del escenario que contempla la implementación de movilidad eléctrica se representa así:

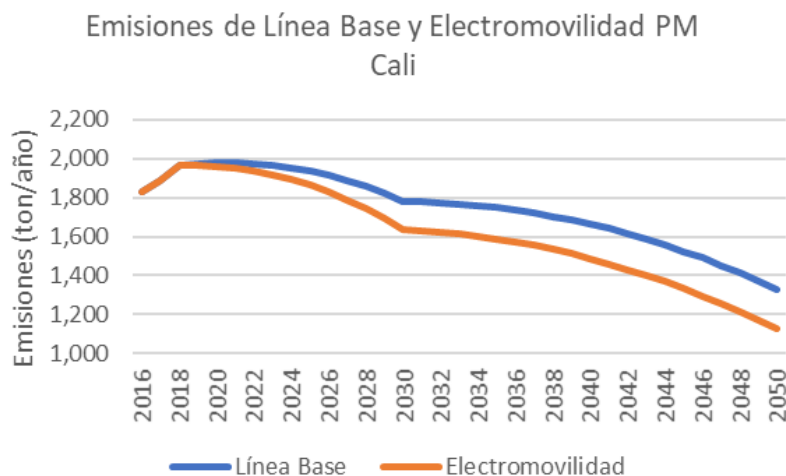


Figura 8. Reducción de emisiones vehiculares de material particulado proyectado a 2050 en Cali para cada año

¹² Valor presente beneficios de mortalidad evitada entre 525 y 1,303 millones de dólares.

4.5 San José

- Los escenarios de movilidad eléctrica considerados para la ciudad de San José, indican que para 2030 se habría evitado la emisión de 2,208 toneladas de PM_{2.5}, esto implica que la movilidad eléctrica habrá evitado 931 muertes prematuras. Los costos asociados a estos beneficios son de 2,994 millones de dólares¹³. Combinado a esto, la movilidad eléctrica habría evitado la emisión a la atmósfera de 197 toneladas de SO₂, casi 46 miles de toneladas NO_x, 6.3 millones de toneladas de CO₂, 1,192 toneladas de Carbono Negro y 19.5 miles de toneladas de CH₄.
- Las proyecciones al año 2050 indican que la reducción de material particulado a este año puede ascender a 10,676 toneladas, evitando así 4,701 muertes atribuibles a la contaminación atmosférica.
- Los escenarios indican que para 2030 la mayoría de las emisiones evitadas vendrían del cambio en la flota de vehículos particulares y en menor medida de autobuses. Las emisiones evitadas de CO₂ serán encabezadas por los vehículos particulares, pero es importante destacar que a partir de 2030 los escenarios indican que los vehículos pesados serán el sector donde se alcance la mayoría de las emisiones evitadas.
- La proyección de las emisiones vehiculares de la línea base y del escenario que contempla la implementación de movilidad eléctrica se representa así:

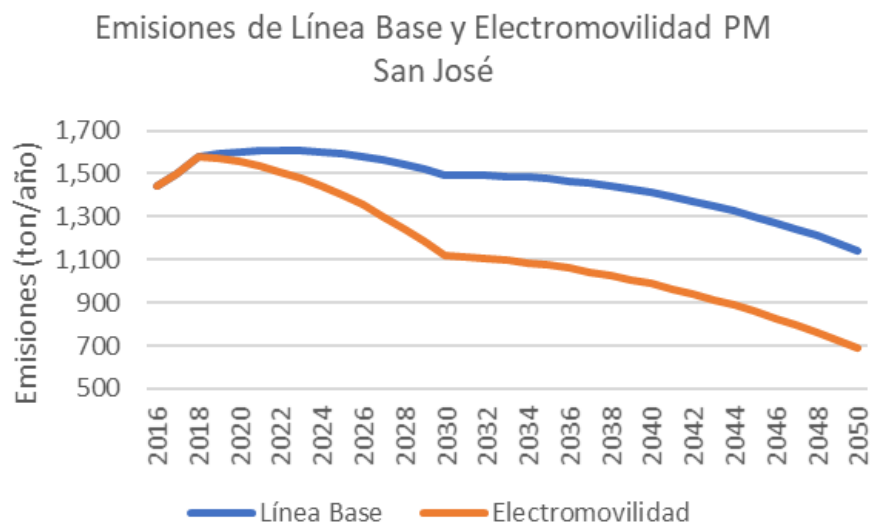


Figura 9. Reducción de emisiones vehiculares de material particulado proyectado a 2050 en San José para cada año

¹³ Valor presente beneficios de mortalidad evitada entre 1,763 y 4,226 millones de dólares.

5. Conclusiones

- Con la asistencia técnica del Clean Air Institute, el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha desarrollado una herramienta de evaluación de escenarios de movilidad eléctrica, cuyo propósito es facilitar el análisis de escenarios de implementación de políticas de movilidad y las metas de penetración correspondientes planteadas por las ciudades. Las salidas de la herramienta incluyen: a) reducción de emisiones para contaminantes criterio y gases de efecto invernadero con respecto al escenario base (*Business as Usual*); y b) los beneficios en salud estimados como resultado de dicha reducción de emisiones, particularmente para el caso de partículas respirables.
- En una etapa piloto, esta herramienta ha sido utilizada para evaluar escenarios de movilidad eléctrica para las siguientes cinco ciudades de América Latina: a) Santiago, b) Ciudad de México, c) Cali, d) Buenos Aires y e) San José. El propósito del análisis ha sido dual: por una parte, asegurar que los datos necesarios para alimentar la herramienta estén disponibles en ciudades de la región a pesar de sus características y dimensiones distintas; y, por otra parte, hacer uso de la herramienta y sus componentes (factores de emisión, factores de riesgo, etc.) para validar su funcionamiento adecuado para fines de evaluación de escenarios de movilidad eléctrica.
- Los análisis realizados en este proyecto indican que la herramienta funciona de manera adecuada y que existen datos disponibles para su aplicación.
- Una vez probada la herramienta, se han evaluado escenarios de movilidad eléctrica para las cinco ciudades estudiadas. Las evaluaciones realizadas partieron de la mejor información disponible recopilada en este análisis realizado en el contexto de este proyecto. No obstante, es importante resaltar que estos resultados son preliminares dado que su alcance ha sido demostrar el uso de la herramienta.
- La evaluación de escenarios realizada mediante el uso de la herramienta indica que, si se cumplieran las metas de electrificación previstas en las cinco ciudades estudiadas, **se evitaría en conjunto la emisión de aproximadamente 10 miles de toneladas de PM_{2.5}** entre el 2019 y el 2030. Ello significaría una reducción del 8% en 2030 con respecto a las emisiones de ese mismo año en el escenario base.
- En conjunto, las ciudades estudiadas también podrían evitar la emisión a la atmósfera entre 2019 y 2030 de:
 - 44 millones de toneladas de Bióxido de Carbono
 - 6.2 miles de toneladas de Bióxido de azufre
 - 227 miles de toneladas de Óxidos de Nitrógeno
 - 5.1 miles de toneladas de Carbono Negro
 - 174.8 miles toneladas de metano
- Para 2030, los escenarios de electrificación indican que en la ciudad de Buenos Aires y de Santiago, donde aparentemente se tienen las metas de movilidad eléctrica más ambiciosas, será donde se reduzcan en mayor medida las emisiones de **los contaminantes analizados** generados por el transporte terrestre.

- Con respecto a los beneficios en salud, la reducción de emisiones de PM_{2.5} se traduciría en casi **10 mil muertes atribuibles evitadas**. Esto tendría un **beneficio económico estimado de 32,327 millones de dólares**¹⁴.
- En complemento al desarrollo y prueba de la herramienta, los análisis realizados revelan que para que los escenarios previstos se cumplan es necesario apoyar a las ciudades en el diseño e implementación de instrumentos de política que aceleren la convergencia hacia metas ambiciosas dirigidas a alcanzar los objetivos de desarrollo de la movilidad eléctrica y reducción de emisiones para 2030, 2040 y más allá. Entre dichos instrumentos se encuentran:
 - Incentivos fiscales (exención de aranceles, reducción de impuestos de consumo).
 - Desarrollo de la infraestructura de recarga y otra necesaria para la movilidad eléctrica.
 - Instrumentos para dar preferencia a la circulación de vehículos eléctricos.
 - Lugares y tarifas preferenciales a vehículos eléctricos en estacionamientos.
 - Porcentajes crecientes de incorporación de vehículos eléctricos en flotas de transporte público, vehículos gubernamentales y de servicio de transporte de pasajeros y de mercancías.
 - Desarrollo de modelos de negocio y de financiamiento que favorezcan la movilidad eléctrica.
 - Otros.
- Más allá, la movilidad eléctrica tiene un alto potencial de desarrollo en América Latina. No obstante, para acelerar su despliegue es indispensable brindar información sólida acerca de sus beneficios a tomadores de decisiones, formuladores de política, actores clave y al público, entre otros.

¹⁴ Valor presente beneficios de mortalidad evitada entre 18,606 y 46,048 millones de dólares.

6. Referencias

Apte, J., Bombrun, E., Marshall, J., & Nazaroff, W. (2012). Global intraurban intake fractions for primary air pollutants from vehicles and other distributed sources. *Environmental Science and Technology*, 46(6), 3415–3423. <https://doi.org/10.1021/es204021h>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) & Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). (2018). Actualización Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá - Año 2016. Convenio de Asociación N°583 de 2017. Medellín, 2018.

Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC). (2018). Flota circulante en Argentina 2017. <https://autoblog.com.ar/wp-content/uploads/2018/05/AFAC-Informe-Parque-Circulante-2017.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) & Fundación Sin Ánimo de Lucro Ecológica Fulecol (Fulecol). (2018). Informe Final Actualización del Inventario de Emisiones de Santiago de Cali. Contrato de Consultoría N° 0534 de 2017. Santiago de Cali, 2018.

European Environment Agency. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>

GEASUR. (2015). Generación de antecedentes para la evaluación técnica-económica a la aplicación de medidas de control para fuentes móviles en PPDA Región Metropolitana.

Humbert, S., Marshall, J., Shaked, S., Spadaro, J., Nishioka, Y., Preiss, P., ... Jolliet, O. (2011). Intake Fraction for Particulate Matter: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment. *Environmental Science & Technology* TA - TT -, 45(11), 4808.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). Elementos de inventario de fuentes móviles: Inventario de emisiones de fuentes móviles carreteras, 2016. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. Ciudad de México, 2018.

International Council on Clean Transportation (ICCT). (2014). Actualización Normativa- Regulación sobre Emisiones de Vehículos Pesados en México. Disponible en: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_NOM-044_20141222_ESP.pdf

Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., ... Tempalski, B. (2009). *Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality*. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19627030>

Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F. E., & Dockery, D. W. (2006). Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 173(6), 667–672. <https://doi.org/10.1164/rccm.200503-443OC>

MMA Chile. (2017). Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas.

Narain, U., & Sall, C. (2016). Methodology for valuing the health impacts of air pollution: discussion of challenges and proposed solutions. *World Bank*, 1–69. <https://doi.org/10.1596/K8849>

OECD. (2012). *Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*. Retrieved from https://www.oecd.org/environment/mortalityriskvaluationinenvironmenthealthandtransportpolicies.htm#How_to_obtain_this_publication

Riteve SyC. (2018). Anuario 2018 - Revisión Técnica Vehicular. San José de Costa Rica, 2019.

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (Sedema). (2016). Inventario de emisiones de la Ciudad de México 2016. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones. Ciudad de México. Septiembre, 2018.

World Bank Group. (2019). *Population Estimates and Projections*. Retrieved from <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/population-estimates-and-projections>

World Bank Group, & ESMAP. (2017). The Energy Subsidy Reform Assessment Framework (ESRAF). Good Practice Note 8, Local Environmental Externalities due to Energy Price Subsidies: A Focus on Air Pollution and Health. Retrieved from

<http://documents.worldbank.org/curated/en/677081531112268818/pdf/ESRAF-note-8-Local-Environmental-Externalities-due-to-Energy-Price-Subsidies-A-Focus-on-Air-Pollution-and-Health.pdf>

7. Anexos

Tabla 21. Contenido de azufre utilizado en el análisis para cada ciudad

| Contenido azufre | Diesel | Gasolina |
|------------------------|--------|----------|
| Santiago | 15 | 15 |
| Buenos Aires | 1000 | 150 |
| CDMX | 15 | 30 |
| Cali ¹⁵ | 15 | 50 |
| San José ¹⁶ | 50 | 50 |

Tabla 22. Supuestos de vigencia de estándares normativos en ciudades

| | Gasolina | Diesel | GLP | GNV |
|-----------------|----------|--------|-----|-----|
| CDMX | | | | |
| Pre Euro | | | | |
| EURO 1/I | | | | |
| EURO 2/II | | | | |
| EURO 3/III | 2010 | 2007 | | |
| EURO 4/IV | 2020 | 2009 | | |
| EURO 5/V | | | | |
| EURO 6/VI | | 2018 | | |
| SANTIAGO | | | | |
| Pre Euro | | | | |
| EURO 1/I | 1993 | 1993 | | |
| EURO 2/II | 2005 | 2005 | | |
| EURO 3/III | 2005 | 2006 | | |
| EURO 4/IV | 2011 | 2012 | | |
| EURO 5/V | 2015 | 2016 | | |
| EURO 6/VI | 2021 | 2020 | | |

¹⁵https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24104363/Ana%C3%AClisis+de+Impacto+Normativo+06062019_MinAmbiente+%28GMR%29_GAU2+%281%29.pdf/f9c3b013-ba0c-48cb-b617-a8b6561bc3a7

¹⁶https://aresep.go.cr/images/Informe_Evaluacion_de_la_calidad_de_los_combustibles_en_los_planteles_de_Recope_2017.pdf

| | Gasolina | Diesel | GLP | GNV |
|---------------------|----------|--------|------|------|
| BUENOS AIRES | | | | |
| Pre Euro | | | | |
| EURO 1/I | | | | |
| EURO 2/II | 2004 | | | |
| EURO 3/III | 2007 | 2006 | | |
| EURO 4/IV | 2009 | 2014 | | |
| EURO 5/V | 2015 | 2016 | | |
| EURO 6/VI | | | | |
| CALI | | | | |
| Pre Euro | | | | |
| EURO 1/I | | | | |
| EURO 2/II | 2012 | 2010 | | |
| EURO 3/III | 2014 | | | |
| EURO 4/IV | 2019 | 2013 | | |
| EURO 5/V | | 2023 | | |
| EURO 6/VI | 2030 | 2030 | | |
| SAN JOSE | | | | |
| Pre Euro | | | | |
| EURO 1/I | 2014 | 2014 | 2014 | 2014 |
| EURO 2/II | | | | |
| EURO 3/III | 2017 | 2017 | 2017 | 2017 |
| EURO 4/IV | 2018 | 2018 | 2018 | 2018 |
| EURO 5/V | | | | |
| EURO 6/VI | 2021 | 2021 | 2021 | 2021 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Categorías parque Cali y su correspondiente categoría EEA

| Categoría original | EEA |
|-----------------------|---------------------------|
| AUTOMÓVILES | No aplica |
| AUTOMOVIL v2 | Passenger Cars |
| Taxis | Taxis |
| AUTOMOVIL* | No aplica |
| CAMIONETA | Passenger Cars |
| CAMPERO | Passenger Cars |
| AMBULANCIA | Light Commercial Vehicles |
| AMBULANCIA CAMPERO | Light Commercial Vehicles |
| MINI MPV | Passenger Cars |
| MINI TRAIL | Passenger Cars |
| CUADRICICLO | Passenger Cars |
| BUSES | No aplica |
| BUS | Buses |
| BUSETA | Buses |
| MINIBUS | Buses |
| MICROBUS | Buses |
| MINI VAN | Buses |
| VAN | Buses |
| CAMIONES | No aplica |
| CAMION | Heavy Duty Trucks |
| VOLQUETA | Heavy Duty Trucks |
| MINICARGADOR | Heavy Duty Trucks |
| TRACTO/CAMION | Heavy Duty Trucks |
| MOTOS | L-Category |
| MOTOCICLETA | No aplica |
| MOTOTRICICLO | No aplica |
| TRICIMOTO | No aplica |
| CUATRIMOTO | No aplica |
| MOTOCARRO | No aplica |
| MAQUINARIA | No aplica |
| ABONADORA | No aplica |
| MAQUINARIA AGRICOLA | No aplica |
| MAQUINARIA INDUSTRIAL | No aplica |
| BARREDORA | No aplica |

| Categoría original | EEA |
|--------------------|-------------------|
| EXCAVADORA | No aplica |
| RETROEXCAVADORA | No aplica |
| MINI EXCAVADORA | No aplica |
| BULDOZER | No aplica |
| MOTONIVELADORA | No aplica |
| COMPACTADORA | No aplica |
| VIBROCOMPACTADORA | No aplica |
| TRACTOR | No aplica |
| MONTACARGAS | No aplica |
| GRUA | No aplica |
| PAVIMENTADORA | No aplica |
| CARGADORA FRONTAL | No aplica |
| CARGADOR | No aplica |
| COSECHADORA | No aplica |
| PERFORADORA | No aplica |
| PILOTEADORA | No aplica |
| AUTOHORMIGONERA | No aplica |
| APILADOR | No aplica |
| ZANJADORA | No aplica |
| TRANSPORTE MASIVO | No aplica |
| BUS PADRON | Buses TP |
| BUS ARTICULADO | Buses TP |
| BUS ALIMENTADOR | Buses TP |
| REMOLQUES | Heavy Duty Trucks |
| REMOLQUE | No aplica |
| SEMIREMOLQUE | No aplica |

Fuente: Elaboración propia. * Categoría original fue dividido en automóvil V2 y taxis

Tabla 24. Categorías parque Costa Rica y su correspondiente categoría EEA

| Categoría original | EEA |
|----------------------------|-------------------|
| Automóvil | Passenger Cars |
| Autobuses *, ** | No aplica |
| Buses | Buses |
| Buses TP | Buses TP |
| Camiones de carga <3500 kg | Heavy Duty Trucks |
| Camiones de carga >3500 kg | Heavy Duty Trucks |
| Taxis | Taxis |
| Equipo Especial *** | Heavy Duty Trucks |
| Motocicletas | L-Category |

Fuente: Elaboración propia

* Categoría subdivida en Buses y Buses TP. ** Incluye buses, microbuses y busetas de ruta y privado (estudiantes, personal de empresas y turistas), que tengan placas de autobuses.

*** Incluye camiones tanques para transportar productos peligrosos, camiones de basura, maquinaria agrícola, remolques y otros.

Tabla 25. Categorías parque Santiago y su correspondiente categoría EEA

| Categoría Original | EEA |
|--|---------------------------|
| Automóvil, station wagons | Passenger Cars |
| Jeep | Passenger Cars |
| Furgón | Light Commercial Vehicles |
| Minibús | Buses |
| Camioneta | Light Commercial Vehicles |
| Motocicleta y similares | L-Category |
| Otros con motor | No aplica |
| Otros sin motor | No aplica |
| Taxi | Taxis |
| Taxi Colectivo | Taxis |
| Taxi turismo | Taxis |
| Minibus, traspor. Colectivo | Buses |
| Minibús, furgón esc. Y trabaj | Buses |
| Taxibus | Buses |
| Bus (Orig)* | No aplica |
| Bus | Buses |
| Buses | Buses |
| Buses TP | Buses TP |
| Bus, transporte escolar y trabajadores | Buses |

| Categoría Original | EEA |
|--------------------------|-------------------|
| Camiónsimple | Heavy Duty Trucks |
| Tractocamión | Heavy Duty Trucks |
| Tractoragrícola | No aplica |
| Otrosconmotor | No aplica |
| Remolques y semiremolque | No aplica |

Fuente: Elaboración propia.

* Categoría subdivida en Buses y Buses TP

Tabla 26. Categorías parque Buenos Aires y su correspondiente categoría EEA

| Categorías Argentina | Categorías Copert |
|--------------------------------|---------------------------|
| Automoviles* | No aplica |
| Automoviles 2 | Passenger Cars |
| Taxis | Taxis |
| Omnibus ** | No aplica |
| Omnibus 2 | Buses |
| Buses TP | Buses TP |
| Vehiculos de carga | Heavy Duty Trucks |
| Vehiculos utilitarios livianos | Light Commercial Vehicles |

Fuente: Elaboración propia.

*Categoría subdivida en Passenger Cars y Taxis.

**Categoría subdivida en Buses y Buses TP