

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

# El rol de las energías renovables en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades de América Latina y el Caribe

Impactos, desafíos y oportunidades ambientales

Diego Messina  
Rubén Contreras Lisperguer  
René Salgado Pavez



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)

Documentos de Proyectos

# El rol de las energías renovables en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades de América Latina y el Caribe

Impactos, desafíos y oportunidades ambientales

Diego Messina  
Rubén Contreras Lisperguer  
René Salgado Pavez



cooperación  
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Este documento fue preparado por Diego Messina, Consultor de la Unidad de Agua y Energía de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), junto con Rubén Contreras Lisperguer y René Salgado Pavez, Oficial de Asuntos Económicos y funcionario, respectivamente, de la misma División, 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”, clúster Tecnología y Energía, 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.2022/125  
Distribución: L  
Copyright © Naciones Unidas, 2022  
Todos los derechos reservados  
Impreso en Naciones Unidas, Santiago  
S.22-00588

Esta publicación debe citarse como: D. Messina, R. Contreras Lisperguer y R. Salgado Pavez, “El rol de las energías renovables en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades de América Latina y el Caribe: impactos, desafíos y oportunidades ambientales”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/125), 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>Resumen .....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>9</b>
A. Impacto de las emisiones del transporte sobre la salud de las personas en las ciudades .....	11
B. Medidas en el contexto mundial para mitigar los impactos del transporte en las ciudades .....	12
1. Incentivos financieros - Medidas fiscales .....	13
2. Incentivos financieros: Ayudas y otras medidas .....	15
3. Infraestructura .....	15
C. El desafío de adoptar medidas adicionales para electrificar el transporte con fuentes renovables .....	15
<b>I. Contribución del transporte en base a fuentes energéticas fósiles a los gases contaminantes en América Latina y el Caribe .....</b>	<b>17</b>
A. Consumo energético .....	17
<b>II. Emisiones del transporte a combustión fósil y estatus de implementación de la electromovilidad en cuatro ciudades seleccionadas .....</b>	<b>23</b>
A. Enfoque metodológico .....	23
B. Resultados de emisiones de vehículos privados y buses en las cuatro ciudades de análisis .....	24
C. Estatus de implementación de VE en países analizados .....	25
1. Argentina .....	25
2. Brasil .....	25
3. Colombia .....	26
4. México .....	26
<b>III. Tendencias en el crecimiento de las ventas de VE e impacto en la demanda de electricidad .....</b>	<b>27</b>
A. El rol de las energías renovables en la electromovilidad .....	28

1.	Requerimientos de infraestructura.....	29
2.	Sistemas de carga inteligente .....	30
3.	El rol del acoplamiento sectorial para la electrificación del sector transporte .....	30
4.	La planificación de la electromovilidad .....	31
<b>IV.</b>	<b>Externalidades ambientales negativas de las energías solar y eólica .....</b>	<b>33</b>
A.	Solar.....	33
B.	Eólica .....	34
<b>V.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>35</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>37</b>

### Cuadros

Cuadro 1	Contaminantes asociados al transporte y resultado sobre la salud de las personas....	11
Cuadro 2	Clasificación de medidas analizadas para la Unión Europea .....	13
Cuadro 3	Cantidad de vehículos y buses en ciudades selectas .....	23
Cuadro 4	Toneladas métricas anuales de CO <sub>2</sub> emitidas en ciudades seleccionadas de vehículos particulares.....	24
Cuadro 5	Toneladas métricas anuales de CO <sub>2</sub> emitidas en ciudades seleccionadas de buses de pasajeros .....	25
Cuadro 6	Demanda estimada de electricidad del sector transporte en América Latina y el Caribe .....	28
Cuadro 7	Toneladas métricas anuales de CO <sub>2</sub> emitidas en ciudades seleccionadas de buses de pasajeros .....	29

### Gráficos

Gráfico 1	Proporción renovable y no renovable de la generación eléctrica en países de América Latina y el Caribe .....	16
Gráfico 2	Consumo energético final en América Latina y el Caribe según sector, 2020.....	18
Gráfico 3	Consumo energético final en América Latina y el Caribe del sector transporte según tipo de combustible, 2020.....	18
Gráfico 4	Emisiones de GEI en América Latina y el Caribe desagregado según sector, 2018.....	19
Gráfico 5	Emisiones de GEI del sector transporte en América Latina y el Caribe desagregado según tipo de contaminante, 2020 .....	20
Gráfico 6	Serie de emisiones de Co <sub>2</sub> del sector transporte en América Latina y el Caribe desagregado según tipo de combustible emisor (2020).....	20
Gráfico 7	Serie de emisiones de CO del sector transporte en América Latina y el Caribe desagregado según tipo de combustible emisor, 2010-2020 .....	21
Gráfico 8	Inserción de buses y VE según escenarios de inserción .....	28

## Lista de acrónimos

BEV	Siglas en inglés de <i>Battery Electric Vehicle</i>
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
EM	Estados Miembros
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIS	Gran Impulso para la Sostenibilidad
IVA	Impuesto sobre Valor Añadido
OMS	Organización Mundial de la Salud
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PAHO	Siglas en inglés de <i>Panamerican Health Organization</i>
PIB	Producto Interno Bruto
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
VE	Vehículos Eléctricos
VRE	Sigla en inglés de <i>Variable Renewable Energy</i>
VGI	Sigla en inglés de <i>Vehicle Grid Integration</i>
EVSE	Sigla en inglés de <i>Electric Vehicle Supply Equipment</i>





## Resumen

La región ha estado atravesando por uno de los períodos más complejos de las últimas décadas; por una parte los efectos de la post-pandemia, así como los efectos económicos y financieros globales del conflicto entre la Federación de Rusia y Ucrania, ha exigido, entre otras medidas, resguardar la inversión pública y promover la inversión privada en sectores estratégicos que más bien tengan un alto y mejor rendimiento económico, social y ambiental. Sumado a esta coyuntura, según la Organización Meteorológica Mundial, los impactos del cambio climático han permanecido, el calentamiento global ha se ha mantenido a pesar de una leve baja en las emisiones de gases de efecto invernadero (OMM, 2019), ya que el consumo energético sigue en los mismos niveles de crecimiento prepandémico (sieLAC-OLADE, 2022).

En este escenario de reactivación económica e incrementos sostenidos en la demanda de energía, surgen oportunidades para el transporte y energía para descarbonizar la región en el marco del Gran Impulso para la Sostenibilidad (GIS), operacionalizando la transición energética para la introducción de un cambio estructural profundo.

En el presente estudio se espera identificar información esencial relacionada con temas energéticos y ambientales relacionados al sector transporte. Se identifican las principales tendencias de la transición energética para el sector en su rol para mitigación las externalidades del transporte público y privado a combustión fósil, en ciudades seleccionadas de la región (Bogotá, Ciudad de Buenos Aires, São Paulo y Ciudad de México). Con un diagnóstico de impacto ambiental del transporte, (gases de efecto invernadero (GEI). Esto permitirá identificar en qué medida las soluciones energéticas basadas en renovables significarían una disminución de las emisiones de GEI, una vez entendida la contribución del sector.



## Introducción

La región está atravesando por un proceso de transformación en la economía y en especial en el sector energético; uno de los períodos más complejos de las últimas décadas: por una parte los efectos de la post-pandemia global con una importante recesión económica con tasas de crecimiento del PIB mundial negativas, -3,6%, para el año 2020 un 5,9% menos que en 2019 (Worldbank, 2022) y por otra, los efectos económicos y financieros globales (precio de los alimentos y los combustibles) del conflicto entre la Federación de Rusia y Ucrania, lo ha provocado resguardar la inversión pública y promover la inversión privada en sectores como el de las energías renovables. Precisamente un subsector llamado a la renovabilidad y sostenibilidad (Gran Impulso de la Sostenibilidad) y uno de los principales en la transformación productiva que lleva adelante la transición energética<sup>1</sup>.

En este escenario de reactivación económica e incrementos sostenidos en la demanda de energía, surgen oportunidades en especial para los sectores transporte y energía con el objeto de descarbonizar la región en el marco del Gran Impulso para la Sostenibilidad (GIS), promovido por la CEPAL, y mediante la puesta en marcha de una transición energética<sup>2</sup> que permita retomar la senda de crecimiento, reactivar las inversiones en el sector eléctrico, pero a la vez cambiar el enfoque utilizado en un crecimiento puramente económico hacia un cambio estructural profundo, avanzando hacia la inclusividad, y a crear entornos más limpios y sostenibles.

En este contexto la CEPAL y la Cooperación Alemana han creado e implementado el Programa de Cooperación Regional CEPAL-BMZ/GIZ “Ciudades inteligentes, inclusivas y sostenibles (CISI) en el marco de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe”, que busca fomentar las condiciones técnicas e institucionales para promover el desarrollo sostenible en las dimensiones de la movilidad urbana, es decir, movilización de personas, bienes y servicios precisamente en el marco del GIS antes mencionado.

---

<sup>1</sup> Con un fuerte sentido de urgencia climática, el 31 de octubre de 2021, el Secretario General de las Naciones Unidas, António Guterres instó al mundo a afrontar los retos urbanos de manera determinada. En la ocasión argumentó que “las ciudades pueden liderar el avance hacia una mejor recuperación tras la pandemia, reducir las emisiones a la escala y velocidad que el mundo necesita, y asegurar un futuro resiliente para miles de millones de personas” (UN, 2021).

<sup>2</sup> CEPAL plantea que la transición energética es un proceso que converge en una transformación sostenible del sistema energético a través de políticas públicas, de la adaptación de sus instituciones y de la generación e implementación de nuevas regulaciones (CEPAL, 2021).

El Programa CISI tiene como objetivo central contribuir a que en ciudades latinoamericanas seleccionadas se realicen estudios y actividades para promover el desarrollo sostenible especialmente en los ámbitos de la i) conectividad urbana y movilidad, ii) tecnología y energía, y iii) política Industrial. En consecuencia, el imperativo de esta iniciativa conjunta es promover la configuración de ciudades más inclusivas, sostenibles e inteligentes. Uno de pilares que sostienen este programa es precisamente, el estudio de la conectividad y la posibilidad de ofrecer respuestas y estrategias al futuro de la movilidad urbana para la región, y precisamente el rol que las energías renovables pueden desempeñar en la electrificación del transporte público y privado de las ciudades en la región.

En este estudio se presentan datos energéticos y ambientales vinculados al sector transporte y se identifican las principales tendencias que ofrece la denominada transición energética para el sector<sup>3</sup>, principalmente en su rol de mitigador de externalidades generadas por el transporte público y privado a combustión fósil, y con especial atención en ciudades seleccionadas de la región (Bogotá, Ciudad de Buenos Aires, São Paulo y Ciudad de México). Para ello, se realizó un diagnóstico de impacto ambiental del transporte, principalmente de los gases de efecto invernadero (GEI). Esto permitirá identificar en qué medida las soluciones energéticas basadas en renovables significarían una disminución efectiva de las emisiones de GEI, una vez entendida la contribución del sector.

Tanto las variables cuantitativas como cualitativas presentadas en este documento están fundamentadas con información que ha sido consultada en organismos internacionales, estudios académicos e instituciones de países. La metodología utilizada para los cálculos de datos se expone paso a paso, de manera permitir la replicabilidad de los cálculos.

El capítulo introductorio aborda los impactos que genera el transporte basado en combustión de fuentes fósiles, mediante información relativa a impactos sobre la salud de las personas e identificación de los principales gases emitidos que contribuyen a determinadas enfermedades y externalidades ambientales negativas. Por otra parte, se identifican instrumentos económicos de incentivo que ya se están implementando en el contexto global de fomento de la electromovilidad.

Estas iniciativas dicen relación con políticas para promover el uso, adquisición y desarrollo de vehículos/buses eléctricos. De esta manera, se establece un marco referencial, que permite desarrollar una noción sobre el funcionamiento de los incentivos económicos e instrumentos que contribuyen hacia un mayor uso de vehículos eléctricos.

Posteriormente comienza el principal foco de este estudio: la dimensión energético-ambiental, debido a que, a pesar de los progresos en términos de desarrollo de instrumentos para la adquisición de vehículos y buses eléctricos, los datos presentados a lo largo del documento permiten concluir que no existirá un progreso ambiental relevante sin una red de infraestructura de carga eléctrica renovable para al transporte, principalmente debido a que, incorporar vehículos y buses eléctricos requerirá una mayor generación de electricidad en la matriz eléctrica, la cual actualmente sigue compuesta por un 36,3% de fuentes térmicas no renovables contaminantes en América Latina y el Caribe (sieLAC-OLADE, 2022). Además, la generación hidroenergía ha disminuido sustantivamente su participación en la generación eléctrica desde 2000 a 2020 de 61,3% a 46,3%, principalmente por la entrada de energías renovables variables y térmica renovable; pero también por el aumento de fuentes térmicas no renovables, las que, en el mismo periodo han aumentado de 34,6% a 36,3% durante el mismo periodo (sieLAC-OLADE, 2022).

Posteriormente en el capítulo I se realiza un análisis de series estadísticas con indicadores energéticos y ambientales claves para dilucidar en qué proporción contribuye el sector transporte a los GEI. Para ello, se recurre a datos regionales provistos por OLADE, que abordan el estado actual de la matriz, el consumo del sector transporte, los principales combustibles utilizados en el sector y sus emisiones asociadas, a fin de ir paso a paso investigando los vínculos entre las emisiones de GEI, el transporte y las fuentes energéticas primarias. A su vez, se ofrece un relato en torno a los datos que permite analizar las principales externalidades del sector.

<sup>3</sup> Corresponde principalmente al sector transporte cuya agrupación de consumo energético se refiere a: gas natural y fuel oil, como lo establece la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Posteriormente, el capítulo II realiza un análisis de emisiones de CO<sub>2</sub> con mayor grado de detalle para cuatro casos de megaciudades de la región (São Paulo, Buenos Aires, Bogotá, Ciudad de México), basado en datos de vehículos y buses eléctricos. Esta fase está desarrollada bajo la metodología descrita en el capítulo II.A, la cual es replicable y ha sido aplicada en los casos de estudio de ciudades seleccionadas.

En el capítulo III se dimensionan las emisiones de la región considerando escenarios de inserción de vehículos y buses eléctricos, y el rol de las renovables para sustituir la demanda exigida por la electromovilidad y la importancia de otros contaminantes, especialmente el material particulado, el cual ha sido identificado por UN-Habitat como otro de los contaminantes que deterioran la calidad de vida de las personas en las ciudades. En el capítulo III.A se identifican los principales aspectos que permiten configurar un entorno de infraestructura apropiado de renovables para la electromovilidad, destacando con particular atención al rol de los sistemas de carga, las posibilidades de acoplamiento sectorial y la planificación energética.

En el capítulo IV se exponen externalidades ambientales negativas de las energías renovables solar y eólica, con una perspectiva de derechos humanos. Finalmente, en el Capítulo de conclusiones se abordan los principales hallazgos del estudio recomendaciones de CEPAL.

## A. Impacto de las emisiones del transporte sobre la salud de las personas en las ciudades

Las altas concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera están llevando al planeta a un territorio desconocido. De hecho los últimos años han sido los más caluroso jamás registrados y el nivel del mar (siempre más caliente y acidificado) sigue avanzando con nuevos niveles máximos. Dentro de las principales afecciones de los GEI, existe abundante evidencia de sus impactos en el cambio climático. Sin embargo, los GEI también tienen una incidencia sobre la salud de las personas. Como se puede observar en el cuadro 1, los GEI contribuyen al desarrollo de diversas patologías e incluso la mortalidad. En América Latina y el Caribe más de 150 millones de personas viven en ciudades que exceden las Guías de Calidad del Aire de la OMS (PAHO, 2021).

**Cuadro 1**  
**Contaminantes asociados al transporte y resultado sobre la salud de las personas**

Resultado sobre la salud	Contaminantes asociados al transporte
Mortalidad	Humo negro, ozono, material particulado.
Enfermedades respiratorias (no alérgicas)	Ozono, dióxido de nitrógeno, material particulado, compuestos orgánicos volátiles, partículas del ambiente concentradas, gases de escape del diésel.
Enfermedades respiratorias (alérgicas)	Ozono, dióxido de nitrógeno, material particulado, compuestos orgánicos volátiles, partículas del ambiente concentradas, gases del escape del diésel.
Enfermedades cardiovasculares	Humo negro, partículas del ambiente concentradas.
Cáncer	Dióxido de nitrógeno, gases de escape del diésel.
Resultados reproductivos adversos	Gases de escape del diésel, monóxido de carbono, dióxido de azufre, partículas suspendidas.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de (Coffman et al., 2017).

El transporte, cuya demanda representa el 38% del consumo energético final de la región (sieLAC-OLADE, 2022), es una importante fuente de emisiones de GEI, principalmente mediante las emisiones de partículas de CO<sub>2</sub> y CO, ozono y dióxido de nitrógeno (Anenberg, Miller, et al., 2019). Durante el año 2015, el consumo de energía en la región produjo 1.208 millones de toneladas de dióxido de carbono (IEA, 2020), de los cuales el mayor 36,2% provenían al sector de transporte, 22,4% industria y 20,5% de la producción de electricidad y calefacción.

Los problemas ocasionados por las emisiones derivadas del uso de fuentes energéticas fósiles tienen un alto impacto en los sistemas urbanos ya que el 81% de la población de América Latina y el Caribe vive precisamente en asentamiento humanos, e incluso más de un tercio lo hace en ciudades con más de 1 millón de personas. Además, éstas generan el 60% de las emisiones de gases efecto invernadero puesto que son el motor de las economías nacionales, incluso producen un porcentaje sustantivo del PIB total de cada país. No cabe duda de que para la región los asentamientos humanos serán determinantes para el devenir del desarrollo, la sostenibilidad, la lucha contra el cambio climático y el éxito de la agenda 2030, en otras palabras... “Nuestra lucha por la sostenibilidad global se ganará o perderá en las ciudades” (Ban Kim Moon 2012). Asimismo, se enfrentan al crecimiento descontrolado (generalmente expansión horizontal de baja densidad en territorios extensos), lo que ha aumentado considerablemente la distancia entre destinos funcionales: lugares de trabajo, escuelas, hospitales, servicios estatales y/o centros comerciales, conduciendo a un aumento de la dependencia del transporte motorizado privado, así como de otros tipos de movilidad dependiente del automóvil (UN-Habitat, 2019).

Para entender los principales efectos directos y externalidades del transporte sobre la salud de las personas en las ciudades, se ha elaborado el cuadro 1, el cual hace referencia a los efectos que los GEI asociados al transporte ocasionan sobre la salud de las personas:

Frente a esta situación tan compleja que ha dibujado y complejizado el sector transporte en las últimas décadas, es que en la mayoría de los foros de Naciones Unidas el tema del transporte sostenible ha comenzado a mencionarse con fuerza, especialmente respecto al rol que puede jugar en el cambio global sostenido hacia las energías renovables. Definitivamente el transporte puede contribuir sustantivamente a la respuesta climática propuesta en la Conferencia sobre el Clima (COP26, Glasgow) y seguramente será retomado en la COP27, en Egipto, en noviembre de 2022. El desafío entonces es apuntar a la descarbonización del sector (emisión cero) para el 2050 y así evitar los graves daños que ha venido generando en el medio ambiente y peor aún como se aprecia en el cuadro 1 a la salud de las personas.

## **B. Medidas en el contexto mundial para mitigar los impactos del transporte en las ciudades**

Respecto de las problemáticas ambientales, diversos organismos internacionales han identificado iniciativas que involucran al sector del transporte y la planificación urbana sostenible, a saber:

- Fomentar el llamado “modelo de ciudad compacta”, caracterizadas por altos niveles de conectividad del transporte sostenible, con redes conectadas y relacionadas con las arterias y calles de uso múltiple, ajustadas a planes de movilidad integrados a los planes de ordenamiento territorial con el objeto central de disminuir la demanda y uso de vehículos privados, así como promover sistemas de transporte multimodal eficientes, cómodos y seguros (UN-Habitat, 2019).
- Integrar la salud en la planificación urbana y territorial (UN-Habitat & WHO, 2021).
- Introducir estándares de eficiencia de combustibles para vehículos e incentivos para la electromovilidad alimentada por energías renovables (UN-Habitat, 2019).

Por su parte, la CEPAL plantea que se requieren acciones regulatorias complementarias para promover una participación del sector privado, entre otros aspectos, cuyas iniciativas sean compatibles con el “Gran Impulso para la Sostenibilidad” (GIS), entendido como un cambio en los patrones de producción, consumo y demanda, tendientes a garantizar el equilibrio en todos los ecosistemas vinculados a las ciudades. No será posible que la región cuente con ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes si no existen datos sólidos y sistemáticos, formación de capacidades, utilización de herramientas e intercambios de conocimientos que desemboquen en la formulación de sólidas propuestas de acción del Estado (rol del regulador), así como de señales claras para la participación del sector privado en iniciativas individuales, o asociadas (entre privados, o con el sector público).

Al proyectar estas iniciativas junto con el sector energético, surge la movilidad eléctrica sostenible como herramienta eficaz para asegurar una efectiva descarbonización. Puesto que una matriz eléctrica con menos de un 80% de su generación basada en renovables, necesariamente permitirá un desplazamiento en las emisiones de carbono desde los vehículos hacia las plantas generadoras de electricidad basadas en fuentes fósiles.

En consecuencia, el gran desafío para que la electromovilidad sea un factor de cambio, es que la nueva demanda adicional y futura por los vehículos eléctricos, sea cubierta en forma sostenida por fuentes renovables de energía.

Es por ello que permanentemente se ha afirmado que en el contexto de post-covid y los efectos económicos (precio de los combustibles fósiles) y sociales del conflicto entre la Federación de Rusia y Ucrania, hay una oportunidad para la penetración de las energías renovables y su activa contribución al crecimiento de una economía que comienza a descarbonizarse. Con todo, la región aún presenta una matriz principalmente basada en fuentes fósiles, particularmente para el sector transporte. En consecuencia, es muy importante, que iniciativas que están presentes hace años en las principales megaciudades de la región, de introducción y uso de vehículos eléctricos para el transporte público, sean apoyadas y reproducidas por las autoridades locales.

A continuación se presentan medidas para fomentar adquisición y uso de vehículos eléctricos, las más importantes incluyen: i) medidas fiscales, ii) orientadas a la infraestructura, iii) incentivos financieros para la compra y apoyo a proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D), y iv) proyectos que mejoren la percepción del consumidor (Coffman et al., 2017), véase el cuadro 2.

**Cuadro 2**  
**Clasificación de medidas analizadas para la Unión Europea**

<b>Políticas públicas aplicadas</b>	<b>Medidas implementadas en la Unión Europea</b>	
Incentivos	Financieros	Impuestos Subsidios
	No financieros	Otros beneficios para propietarios de vehículos eléctricos
Soporte público para el desarrollo de infraestructura	Puntos de recarga públicos no subsidiados	
Educación de la población	Campañas para concientizar la adopción de la movilidad urbana	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de (Coffman et al., 2017).

## **1. Incentivos financieros - Medidas fiscales**

Considerando la recaudación que genera el instrumento, los incentivos financieros más relevantes de la Unión Europea son el impuesto sobre el valor añadido (IVA), derechos de matriculación y sobre la propiedad de vehículos. A continuación, se analizarán los derechos de matriculación y aquellos relativos a la propiedad de los vehículos, que para el caso de Luxemburgo, por ejemplo, es de 15% y Hungría de 27%. Además, se profundiza respecto a los impuestos sobre la propiedad, impuesto a la renta de las personas físicas e impuesto de sociedades.

### **a) Tasas de inscripción**

El impuesto de matriculación de un vehículo (para estos casos vehículos eléctricos) se comporta como un impuesto especial sobre los vehículos de motor que se aplica a la primera e inicial matriculación. Incluye dos tipos de impuestos, que son el impuesto de matriculación y el impuesto de registro. Ambos se pagan cuando el vehículo se matricula por primera vez, aunque implican una variedad de conceptos. La finalidad de estas tasas es compensar los costes administrativos del proceso de matriculación. Es una cantidad fija, que normalmente no depende de parámetros técnicos o parámetros medioambientales.

Sin embargo, en los casos de Chipre y Francia existen reducciones de impuestos de registro relativas a la cantidad de emisiones que se generan determinados vehículos. En el caso de Chipre, se aplica un descuento del 15% a los que emiten menos de 150 g de CO<sub>2</sub> por kilómetro (ACEA, European Automobile Manufacturers Association, 2012), (ACEA, 2014). En Francia, cada región puede establecer una exención total o del 50% del impuesto de matriculación, para el caso de los vehículos eléctricos. Sin embargo, el impuesto de matriculación refleja el poder adquisitivo que muestra la adquisición. El importe depende del valor del vehículo y de sus especificaciones técnicas (Coffman et al., 2017).

En Chipre, Francia, Países Bajos y España, los vehículos eléctricos no pagan impuesto de matriculación. Estos Estados Miembros (EM) representan el 25% de la población de la UE28 y casi el 40% de los 20 EM que aplican este impuesto. En Bélgica, los impuestos de matriculación son definidos por cada región, mientras que el gobierno federal también establece medidas que favorecen a los vehículos ecológicos mediante el mismo impuesto (Clean Vehicle, 2015). Para el caso Bélgica, Flandes y Valonia utilizan el impuesto de matriculación para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos (estas dos regiones representan casi el 90% de la población belga (Eurostat, 2015). En marzo de 2012, las autoridades flamencas modificaron el impuesto de matriculación aplicado a los coches ecológicos.

El impuesto actual se basa en el tipo de combustible utilizado, el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, la norma euro y la antigüedad. Los coches que emiten menos de 81 g de CO<sub>2</sub>/km reciben una prima de 500 a 3500 euros. A los coches que emiten más de 146 g de CO<sub>2</sub>/km se les aplica un impuesto de hasta 2500 euros. Sin embargo, en la región de Bruselas-Capital, el impuesto de matriculación sólo se basa en la potencia y la antigüedad (Donat, L. et al., 2014). En el caso de Italia, las provincias pueden establecer un recargo máximo del 30% para el impuesto de matriculación. Casi todas las provincias han establecido ese máximo y sólo seis han aplicado un recargo inferior para los vehículos eléctricos, que representan poco más del 4% de la población del país (Coffman et al., 2017).

#### **b) Impuesto sobre la propiedad de vehículos:**

El impuesto sobre la propiedad de vehículos es un impuesto local. Este impuesto grava la propiedad de vehículos de tracción mecánica que circulan por las vías públicas. Debe ser pagado periódicamente por el propietario del vehículo. Su importe depende de los parámetros técnicos y de otros aspectos como el impacto medioambiental, el consumo o el uso comercial. En la República Checa, Estonia, Lituania y Polonia, los vehículos privados no están sujetos a este impuesto. Once de los restantes Estados miembros sólo tienen en cuenta los parámetros técnicos. Por lo tanto, sólo 13 Estados miembros incluyen algún tipo de parámetro medioambiental. En Bulgaria, Croacia, Hungría, Italia, Letonia y Malta se toman en cuenta los años que lleva el vehículo circulando.

Paradójicamente, a pesar de que los vehículos más antiguos generan posiblemente un mayor impacto medioambiental, sólo en Malta la tasa aumenta a medida que el vehículo envejece. En consecuencia, esto desalienta la renovación de la flota. Se han establecido impuestos para los vehículos comerciales en los 25 Estados miembros, esto es casi el 99% de la población de la Unión Europea. Además, estos impuestos dependen principalmente de características técnicas como el peso, el número de ejes y el tipo de suspensión. Sólo seis países incluyen algún tipo de parámetro medioambiental (Coffman et al., 2017).

#### **c) Medidas incluidas en el impuesto sobre la renta y en el impuesto de sociedades**

Además de las medidas incluidas en el impuesto de matriculación y el impuesto sobre la propiedad de vehículos hay otras medidas como el impuesto sobre la renta y a las sociedades. En el impuesto sobre la renta se incluyen dos tipos de incentivos. El primero, en el caso de un empleado que recibe un vehículo de empresa, es que su valor (total o parcial) debe incorporarse a la base imponible como parte de la renta. En segundo lugar, la compra de un vehículo Eléctrico (VE) puede producir una deducción en el impuesto. Este es el caso de Portugal, Bélgica, Reino Unido, Países Bajos, Suecia y Alemania. También hay que tener en cuenta que el uso privado de un vehículo de empresa implica un ingreso que depende del valor del vehículo. Cuatro países tienen un impuesto total (Reino Unido) o parcial (Países Bajos, Suecia y Alemania), (Coffman et al., 2017).



## 2. Incentivos financieros: Ayudas y otras medidas

El uso de incentivos financieros está menos extendido que los instrumentos anteriores, pero es el tipo de incentivo más visible para el crédito de compra de un VE. Doce Estados miembros de la Unión Europea llevaron a cabo iniciativas de este tipo (Coffman et al., 2017).

## 3. Infraestructura

En la UE28, existen medidas generalizadas para promover a los VE, que dan prioridad al uso de la infraestructura. En este sentido, la Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (eur-lex, 2014) sobre el despliegue de infraestructuras de combustibles alternativos compromete a los EM a establecer suficientes puntos de recarga disponibles para el público antes del 31 de diciembre de 2020. El objetivo de esta directiva es facilitar la circulación en las zonas densamente pobladas, especialmente en las zonas urbanas y suburbanas, y en las redes determinadas por estos Estados miembros, enumeran varias medidas políticas para promover la infraestructura de los Vehículos Eléctricos a Batería (BEV, por sus siglas en inglés), (Malvik, 2016).

Entre ellas se encuentran la gratuidad del aparcamiento gratuito en zonas de estacionamiento de propiedad pública, el desarrollo de determinadas infraestructuras de recarga, el acceso a carriles bus para vehículos de alta ocupación y la ausencia de peaje, entre otras. El desarrollo de sistemas para minimizar los costes de recarga y evitar la congestión de la red. Finalmente, en Suecia se han introducido varias iniciativas regionales y cambios normativos para promover los vehículos eléctricos, especialmente relacionada con infraestructura dedicadas a los VE. En Alemania, diferentes ciudades han puesto en marcha incentivos especiales para infraestructuras de VE, que están orientados a la conversión de su flota convencional. En Luxemburgo, varias medidas se han incluido en la Estrategia Global de Movilidad y en el Plan Sectorial de Transporte.

## C. El desafío de adoptar medidas adicionales para electrificar el transporte con fuentes renovables

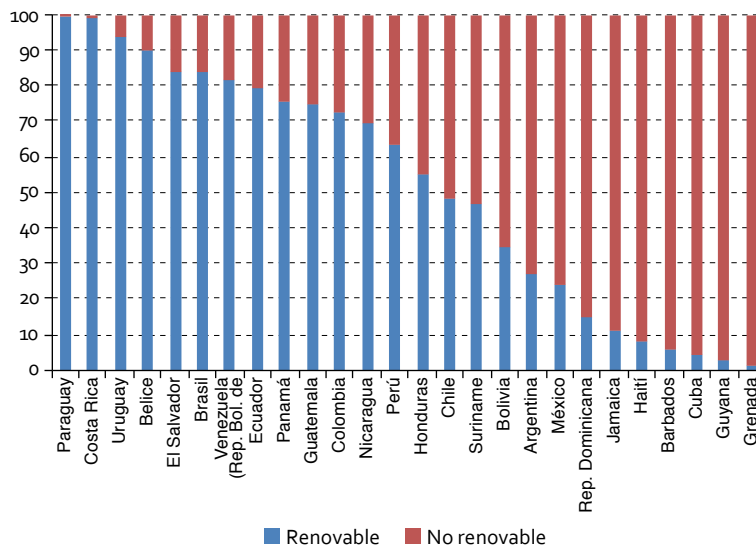
A pesar de los instrumentos económicos identificados anteriormente han tenido éxito en la promoción de los VE, éstos no están diseñados para promover transformaciones sustantivas en la matriz energética que eventualmente alimentará a los VE. Por otra parte, los VE (tampoco los híbridos) aún no alcanzan precios competitivos con los vehículos a motor de combustión fósil, incluso muchos entran en categoría de autos de lujo, por lo que subsidiarlos podría constituir un incentivo perverso y una muy mala señal para el mercado y los usuarios. (China dialogue, 2022).

Ante este escenario, la CEPAL considera que se debe promover una transición energética justa, para que en el marco de ésta hacer frente a la demanda energética, que eventualmente generará la instrucción de VE en la región. En ello se debe promover activamente el rol de las energías renovables en las redes de infraestructura de carga de los VE.

Esto no es menor, ya que el estado actual de la generación por energías renovable del sector eléctrico no es auspicioso (véase gráfico 1), la situación actual en la región permite deducir que, si la demanda de electricidad adicional que la nueva flota de VE es alimentada en la configuración actual, en las condiciones que operan la mayoría de las matrices eléctricas de la región, el aumento de emisiones de GEI será inevitable. Esto debido a que muchos de los países de la región aún cuentan con un índice de renovabilidad de generación eléctrica que está por debajo del 50%. De hecho, en un escenario acostumbrado (business as usual, BAU) proyectando la generación hasta el año 2050 considerando la expansión de la demanda, las fuentes fósiles y contaminantes generarían aproximadamente el 60% de la electricidad para el año 2050 en la región (UNEP, 2019).

Más todavía, como se observa en el gráfico 1, hay países cuya proporción de fuentes renovables generando en el sistema eléctrico es incluso menor al 20%. Desafortunadamente, en las condiciones actuales, las emisiones de GEI aumentarían, puesto que muchos de estos sistemas eléctricos nacionales aún dependen de combustibles fósiles para la generación de electricidad. En consecuencia, es evidente que si la incorporación de VE en la región no se realiza junto a un proceso de planificación energética y sostenida por una transición energética sólida, para que fuentes renovables de energía respalden la nueva demanda, la penetración de la electromovilidad será un proceso de modernización poco exitoso para el sector transporte.

**Gráfico 1**  
Proporción renovable y no renovable de la generación eléctrica en países de América Latina y el Caribe  
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia basada en datos de siELAC, 2022.

## I. Contribución del transporte en base a fuentes energéticas fósiles a los gases contaminantes en América Latina y el Caribe

Con el fin de ofrecer un breve panorama regional sobre los vínculos entre los sectores de: energía, transporte y ambiente, a continuación se presentan información relacionada con:

- Consumo energético final según sector económico en América Latina y el Caribe.
- Principales fuentes energéticas utilizadas por el transporte.
- Emisiones generadas por las fuentes energéticas utilizadas en el transporte.

El objetivo de presentar esta información es establecer el perfil del sector transporte en relación con las emisiones de CO y CO<sub>2</sub>, mencionadas anteriormente por sus impactos en la salud de las personas y el medio ambiente.

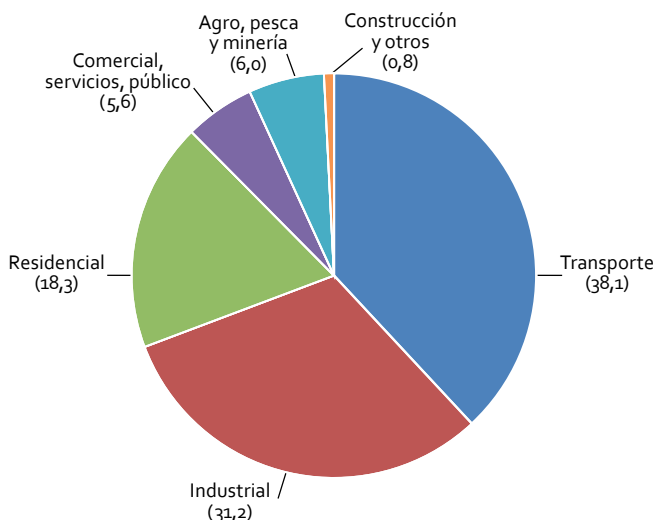
### A. Consumo energético

Al analizar el consumo energético final<sup>4</sup> en los balances energéticos de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la proporción del transporte tiene una fuerte ponderación en la región, con un 38,1%, sobre un total de alrededor de 555 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP)<sup>5</sup> para el año 2020 (véase, el gráfico 2). En consecuencia, si la región pudiera electrificar el sector transporte, con fuentes de generación limpias, renovables, generaría una transformación total para la región, reduciendo un consumo de 211 millones de TEP para ese mismo año. Sin embargo, en los escenarios BAU, realizados por UNEP hacia el año 2050, se plantea que los combustibles fósiles generarían alrededor del 60% de la electricidad. Por lo tanto, la electrificación del sector transporte puede ser una gran oportunidad para la reducción efectiva del uso de fuentes fósiles, en base a fuentes renovables a nivel de matriz eléctrica.

<sup>4</sup> El consumo energético final considera la suma de energías primarias y secundarias.

<sup>5</sup> Se ha considerado la unidad TEP con el fin de homogenizar todas las fuentes energéticas involucradas en el consumo final y hacerlas comparables (gas natural, electricidad, gas licuado de petróleo, gasolina/alcohol, keroseno, diésel oil y fuel oil, según OLADE).

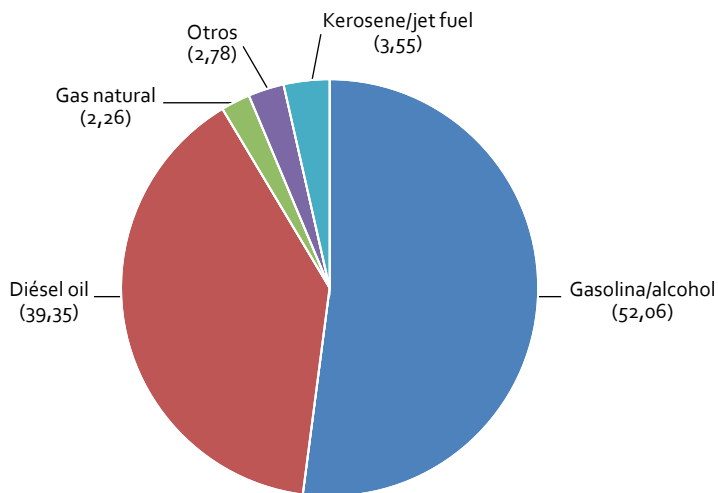
**Gráfico 2**  
**Consumo energético final en América Latina y el Caribe según sector, 2020**  
*(En porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia basada en datos de sieLAC,2022.

El consumo energético también se puede desagregar según tipo de combustible. En este caso, se muestran los tipos de combustible consumidos por el sector transporte. Se observa que dentro de las principales fuentes utilizadas por el sector se encuentran la gasolina/alcohol (52,1%) y diésel oil (39,4%), sobre un total de 211 millones de toneladas equivalentes de petróleo (véase,el gráfico 3).

**Gráfico 3**  
**Consumo energético final en América Latina y el Caribe del sector transporte según tipo de combustible, 2020**  
*(En porcentajes)*

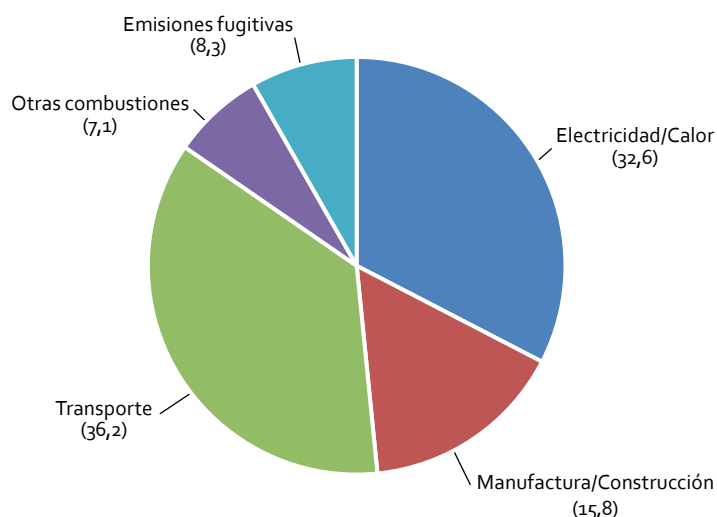


Fuente: Elaboración propia basada en datos de sieLAC,2022.

En términos de indicadores ambientales, los datos de GEI del sector transporte provistos por CEPALSTAT para 2018 (última información disponible), indican que, de un total de 1654,1 millones de

toneladas equivalentes de dióxido de carbono (MtCO<sub>2</sub>), la contribución del transporte es de 36,2%. Ante este escenario es evidente que si la región no honra sus compromisos internacionales, como los acuerdos de París y otros, se espera que esas emisiones se dupliquen hacia el año 2050, debido a la constante y ascendente demanda de energía (UNEP, 2019).

**Gráfico 4**  
**Emisiones de GEI en América Latina y el Caribe desagregado según sector, 2018**  
(En porcentajes)



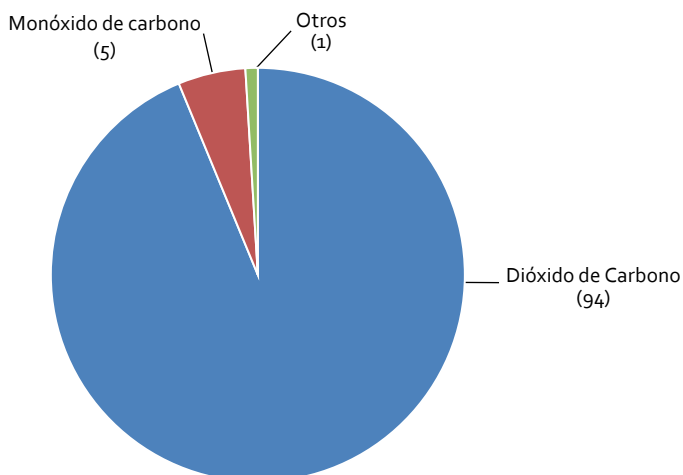
Fuente: Elaboración propia basada en datos de CEPALSTAT, 2022.

Consecuentemente, los principales gases contaminantes que el sector transporte emite son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) (Véase, gráfico 5). El transporte emitió alrededor de 598 millones de toneladas en el año 2020, de los cuales un 94% correspondieron a CO<sub>2</sub>, 5% CO y 1% otros (anhídrido sulfuroso, óxido de nitrógeno y partículas). El dióxido de carbono es el principal gas que emite sector transporte y también es agente directo del cambio climático, lo que ha llevado al mundo a estar a 1,2 grados por encima de los niveles preindustriales. Las consecuencias de no mantener la temperatura bajo los 2 grados pueden ser catastróficas para el planeta y precisamente una de las medidas más directas y de corto/mediano plazo es la descarbonización del sector transporte. Es evidente que cuanto más GEI se emitan, más se calienta el planeta (OCEANA, 2022). En palabras del secretario general de Naciones Unidas en la Cumbre de Financiación de los Países Vulnerables al Clima (Julio de 2021), si la temperatura global sobrepasa el 1,5 “La ciencia lleva tiempo advirtiendo de que debemos limitar el aumento de la temperatura. Más allá de eso, nos arriesgamos a una calamidad... sequías prolongadas, fenómenos meteorológicos extremos e intensificados e inundaciones horribles”.

Para entender la composición de los principales gases que el transporte emite, y medir las toneladas de CO<sub>2</sub> y CO se han desagregado las emisiones según tipo de combustibles utilizados en el transporte, los cuales se expresan en miles de toneladas emitidas. Como se puede observar (véase el gráfico 6), tanto el diésel oíl como la gasolina/alcohol, son responsables de la mayor parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> y emiten alrededor de 556 millones de toneladas en el año 2020. Este gráfico permite analizar las oportunidades que ofrece la recuperación post pandemia, puesto que precisamente en el año 2020 las emisiones desaceleraron en todos los combustibles. Desde esta perspectiva, es posible proponer algunas medidas de mitigación y en ese sentido los instrumentos de incentivos económicos (analizados más arriba), así como transformaciones en la institucionalidad energética de la región, pueden ser un aporte que refuerce la tendencia a la baja de las emisiones experimentada durante este periodo postpandémico.

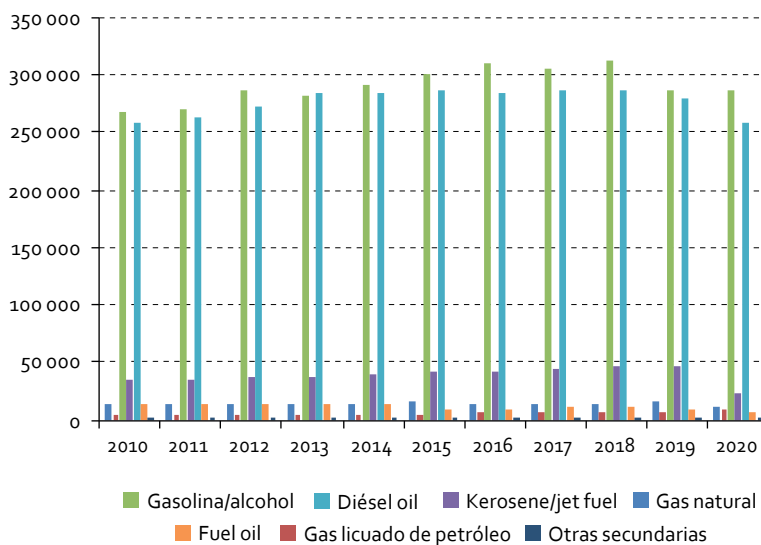
Para ello, iniciativas como el Foro Regional de Planificadores Energéticos (FOREPLEN)<sup>6</sup> de la CEPAL pueden constituir una plataforma útil para el intercambio técnico y la cooperación en relación a la planificación energética regional respecto de las medidas, y acciones necesarias para la financiación climática y la adaptación frente a las emisiones de GEI de los países de la región.

**Gráfico 5**  
**Emisiones de GEI del sector transporte en América Latina y el Caribe desagregado según tipo de contaminante, 2020**  
*(En porcentajes)*



Fuente: Elaboración propia basada en datos de sieLAC,2022.

**Gráfico 6**  
**Serie de emisiones de CO<sub>2</sub> del sector transporte en América Latina y el Caribe desagregado según tipo de combustible emisor (2020)**  
*(En miles de toneladas)*



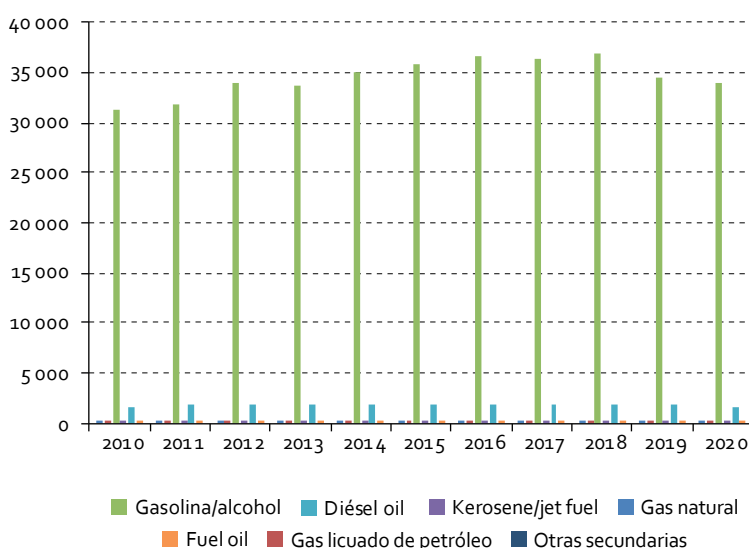
Fuente: Elaboración propia basada en datos de sieLAC,2022.

<sup>6</sup> Consulte [en línea] <https://www.cepal.org/es/foreplen>.

Con todo, la tendencia desde el año 2010 al presente es el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> en todos los tipos de combustibles utilizados en el transporte. UNEP insiste en que para el año 2050 la descarbonización de la matriz energética y la electrificación total del sistema de transporte (incluido los medios marítimos y terrestres), podría evitar 1.100 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y ahorrar hasta 621.000 millones de dólares por año. Estos ahorros incluyen 300.000 millones en gastos en el transporte terrestre de pasajeros y reducciones de 222. mil millones en costos de electricidad. Además, al disminuir la contaminación del aire en las ciudades, el sector de salud podría evitarse gastos de hasta 30.000 millones de dólares (UNEP, 2019).

Otro de los principales gases que emite el sector transporte es el monóxido de carbono, donde el principal combustible responsable de estas emisiones es la gasolina/alcohol (gráfico 7).

**Gráfico 7**  
Serie de emisiones de CO del sector transporte en América Latina y el Caribe desagregado según tipo de combustible emisor, 2010-2020  
(En miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia basada en datos de sieLAC, 2022.

Todas aquellas proyecciones realizadas por UNEP de composición de la matriz eléctrica hacia el año 2050 y de una descarbonización del sector transporte no será posible sin el compromiso de una transición energética hacia las fuentes renovables. Frente a estos escenarios de contaminación y emisiones es imperante que la región adopte medidas para incrementar la renovabilidad del sector eléctrico (UNEP, 2019). Más específicamente y a pesar de los aparentes efectos directos que se generarían en términos de ahorro de infraestructura eléctrica, también es necesario considerar que se requieren medidas adicionales desde el punto de vista de la planificación de la infraestructura de carga para la introducción; por ejemplo, de la electromovilidad. Para ello, es fundamental comprender cómo afectará el aumento de la demanda de los VE a los *peak loads*<sup>7</sup> en los próximos años. En este sentido, los operadores de la red tendrán que mejorar las infraestructuras, incluidas las líneas de distribución, las subestaciones residenciales y los transformadores, así como los equipos de conmutación. Los programas de recarga gestionados y una planificación precisa, por ejemplo, pueden suavizar las cargas a lo largo del tiempo, ahorrando miles de millones en necesidades de inversión para la ampliación de las infraestructuras (Mckinsey, 2021).

<sup>7</sup> *Peak load* o carga máxima, también conocida como demanda máxima, se refiere a la demanda máxima de energía durante un periodo de tiempo determinado, normalmente un día (EIA, 2015).





## II. Emisiones del transporte a combustión fósil y estatus de implementación de la electromovilidad en cuatro ciudades seleccionadas

En este capítulo, se presenta un análisis para dimensionar las emisiones de los vehículos y buses eléctricos en cuatro megaciudades de la región mediante cálculos y una metodología que es descrita a continuación. Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos y un breve análisis de las emisiones per cápita en estas ciudades. Finalmente se analiza el estatus de implementación de electromovilidad en los países a los cuales corresponden estas ciudades.

### A. Enfoque metodológico

La literatura científica relacionada con metodologías para medir los impactos ambientales del sector transporte, en todas sus dimensiones, es extremadamente amplia. En consecuencia, la investigación que se ha desarrollado en este documento sigue un enfoque cualitativo y cuantitativo. La primera parte constituye una revisión bibliográfica general para acceder a datos relacionados con los impactos en la salud de la población, para ello:

- i) Se consultó a nivel de país datos relativos a cantidad de buses y vehículos particulares en las cuatro ciudades de estudio (Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, São Paulo). Los datos obtenidos se detallan en el cuadro 3:

**Cuadro 3**  
Cantidad de vehículos y buses en ciudades selectas

Ciudad	Año	Cantidad de Vehículos Particulares	Cantidad de Buses
Bogotá <sup>a</sup>	2021	8 080 33	2 364
Ciudad de Buenos Aires <sup>b</sup>	2020-2021	1 548 383	9 623
São Paulo <sup>c</sup>	2021-2022	8 948 911	13 563
Ciudad de México <sup>d</sup>	2020-2021	5 406 523	1 791

Fuente: Elaboración propia.

<sup>a</sup> Datos obtenidos de: <http://bit.do/infobogota>.

<sup>b</sup> Datos obtenidos de: <http://bit.do/infoba>.

<sup>c</sup> Datos obtenidos de: <http://bit.do/infosapaulo>.

<sup>d</sup> Datos obtenidos de: <http://bit.do/infomx>.

- ii) Posteriormente, se recopiló información académica que permita calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de vehículos particulares (VP). En el caso de los VP, la metodología asume que un vehículo de pasajeros típico emite unas 4,6 toneladas métricas de dióxido de carbono al año. En cuanto a eficiencia del motor, supone que el vehículo tiene un ahorro de combustible de unos 22,0 kilómetros por galón y recorre unos 11.500 kilómetros al año y que cada galón de gasolina quemado genera unos 8.887 gramos de CO<sub>2</sub> (EPA, 2022).
- iii) Para la estimación de emisiones de buses, se han consultado cuatro fuentes<sup>8 9 10 11</sup>, las que permiten establecer kilómetros recorridos anuales por buses de pasajeros (BP) con distintos grados de sensibilidad (mínimos, máximo y promedios). Por otra parte, la estimación de las emisiones de buses requirió utilizar coeficientes de emisiones por kilómetro recorrido, basado en varias fuentes recopiladas<sup>12</sup>. En el caso de São Paulo y Buenos Aires se obtuvieron fuentes directas para estimaciones de Km recorridos y combustibles utilizados gracias a información recopilada de artículos académicos<sup>13</sup> y entidades de gobierno<sup>14</sup>. Por su parte, en el caso de São Paulo, se considera que toda la flota de autobuses circula con un tipo de diésel menos contaminante, que cuenta con una mezcla de 90% de diésel S10 y 10% de biodiésel (B10)<sup>15</sup>. Los coeficientes de emisiones se han obtenido de guías para la estimación de emisiones en buses<sup>16</sup>, y se ha ponderado según el diésel compuesto mencionado anteriormente.
- iv) Con los datos explicados y variables definidas en los puntos i), ii) y iii), se procede a multiplicar de manera individual la cantidad de vehículos (fórmula 1) y buses (fórmula 2) por las estimaciones promedio de emisiones anuales y los coeficientes de emisiones, a fin de obtener los resultados de emisiones en cada ciudad:

$$(VP) \times (\text{coef } CO_2) \quad (1)$$

$$(BP) \times (\text{coef } CO_2) \text{ (Km recorridos anuales)} \quad (2)$$

## B. Resultados de emisiones de vehículos privados y buses en las cuatro ciudades de análisis

Tras los cálculos, se elaboró el cuadro 4, que contiene los datos procesados de emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas métricas por año para vehículos particulares.

**Cuadro 4**  
**Toneladas métricas anuales de CO<sub>2</sub> emitidas en ciudades seleccionadas de vehículos particulares**

Ciudad	Emisiones de vehículos Particulares (Toneladas métricas de CO <sub>2</sub> anuales)
Bogotá	3 716 951,8
Ciudad de Buenos Aires	7 122 561,8
São Paulo	41 164 990,6
Ciudad de México	24 870 005,8

Fuente: Elaboración propia.

<sup>8</sup> Paper de Elsevier disponible en: <http://bit.do/paperkm1>.

<sup>9</sup> Departamento de Energía de Estados Unidos: <http://bit.do/DepEnerUSA>.

<sup>10</sup> Cálculo realizado para la ciudad de Santiago mediante transapp: <http://bit.do/CalculoSantiago>.

<sup>11</sup> Datos de km recorridos por líneas de buses en Buenos Aires: <http://bit.do/kmbas>.

<sup>12</sup> Cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> por km basado en fuentes disponibles en: <http://bit.do/coefco2>.

<sup>13</sup> Datos de km recorridos por autobús en São Paulo: <http://bit.do/datosSP>.

<sup>14</sup> Datos de km recorridos por autobús en Buenos Aires: <http://bit.do/datosBsAs>.

<sup>15</sup> Información provista por SPtrans: <http://bit.do/SPtrans>.

<sup>16</sup> Guía para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>: <http://bit.do/guiaCO2>.

En los cálculos para determinar las emisiones de los buses de pasajeros, se elaboró el cuadro 5, el cual contiene los datos procesados de emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas métricas por año. En los casos de Buenos Aires y São Paulo no se han realizado cálculos para determinar sensibilidad según kilómetros recorridos, puesto que ciertos parámetros venían dados en los informes citados en la metodología.

**Cuadro 5**  
**Toneladas métricas anuales de CO<sub>2</sub> emitidas en ciudades seleccionadas de buses de pasajeros**

<b>Ciudad</b>	<b>Resultado 1</b> <b>(km recorridos promedio)</b> <i>(en toneladas de CO<sub>2</sub>)</i>	<b>Resultado 2</b> <b>(km recorridos máximo)</b> <i>(en toneladas de CO<sub>2</sub>)</i>	<b>Resultado 3</b> <b>(km recorridos mínimo)</b> <i>(en toneladas de CO<sub>2</sub>)</i>
Bogotá	183 540,3	196 831,3	176 183,8
Ciudad de Buenos Aires	678 250,5		
São Paulo	1 273 232,0		
Ciudad de México	139 052,8	149 122,2	133 479,3

Fuente: Elaboración propia.

## C. Estatus de implementación de VE en países analizados

### 1. Argentina

En Argentina, la descentralización de las decisiones, producto de la organización en gobiernos regionales ha significado que la electromovilidad se esté implementando a distintos grados de avance junto con las empresas operadoras. Los esfuerzos realizados por alguno de los gobiernos subnacionales (Provincias) han avanzado hacia el logro de tener en circulación 95 buses urbanos eléctricos en Buenos Aires (julio de 2021), Sin embargo, esa realidad está cambiando en los últimos meses con la incorporación de nuevas flotas de buses especialmente en el Gran Buenos Aires. Adicionalmente, cabe señalar la existencia de 68 trolebuses que funcionan en Mendoza, Rosario y Córdoba (Ministerio de Energía de Chile, 2020).

En el 2020, dos buses de la marca Yutong se encontraron en fase de prueba en la ciudad de Buenos Aires, para así dar paso a una fase de pruebas piloto en la ciudad. Los actores involucrados en esta iniciativa fueron el Ministerio de Transportes, operadores de líneas específicas y comercializadores de buses. En este caso, fue posible apreciar como la cooperación público-privada se puede articular para llevar a cabo iniciativas de este tipo para evaluar el desempeño de planes y generar informes técnicos que permitan mejorar o analizar la viabilidad de un proyecto de electromovilidad a gran escala para una ciudad capital (Ministerio de Energía de Chile, 2020).

### 2. Brasil

Durante el año 2021, las ventas de VE alcanzaron casi 35.000, esto representa un 77% del año anterior. Según asociaciones de vehículos en Brasil, en 2021 un 2% correspondió a VE del total de la categoría de vehículos ligeros. Gran parte de los VE vendidos se componen por vehículos híbridos de etanol, que representan dos tercios del mercado. Actualmente, unos 73.000 coches y vehículos comerciales ligeros electrificados circulan por las calles brasileñas. Al albergar el mayor mercado de vehículos de América Latina, es clave que Brasil tome la delantera en cuanto a la selección de trenes motrices en toda la región. Las ventas de híbridos enchufables también van en aumento, duplicándose el año pasado. Además, los vehículos electrificados están exentos de restricciones a la circulación, como la medida de control de tráfico Rodizio en la ciudad de São Paulo (Anenberg, Miller, et al., 2019), (China dialogue, 2022).

Para el año 2030, algunos ejecutivos de la industria automovilística mundial creen que aproximadamente el 41% de los vehículos nuevos vendidos en Brasil estarán electrificados, según un informe publicado por la consultora KPMG (KPMG, 2020).

### 3. Colombia

En el año 2020, el Ministerio de Hacienda publicó un decreto que exime la importación de VE de los derechos de importación hasta 2022. Desde el año 2018, Colombia ha desarrollado un marco normativo para promover la transición a los VE, con varias leyes que reducen los impuestos y eliminan las restricciones al tránsito, como ocurre con los coches convencionales (Ministerio de Hacienda de Colombia, 2020).

El principal objetivo del país es alcanzar los 600.000 vehículos eléctricos en las carreteras colombianas para el año 2030. Sólo en 2020 se vendieron 1.321 vehículos, incluso se ha afirmado que: "Colombia es el país que más vehículos eléctricos vende en América Latina" (China dialogue, 2022).

### 4. México

Los incentivos que se ofrecen a los vehículos eléctricos privados varían según los estados. Por ejemplo, los propietarios de vehículos eléctricos, híbridos y de hidrógeno no pagan el impuesto federal de vehículos nuevos. Estos incentivos han dado un impulso al mercado de vehículos eléctricos e híbridos. En 2018, México reportó un crecimiento del 68% con respecto al año anterior en las ventas de vehículos eléctricos e híbridos, ya que alcanzaron más de 17,800. En 2019, los vehículos eléctricos e híbridos de enero a septiembre muestran un total de 955,393 unidades (aunque esta cifra está compuesta casi en su totalidad por híbridos). El país comenzó a desarrollar su Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, con el objetivo de alcanzar el 50% de híbridos o VE para 2040, y el 100% para 2050 (China dialogue, 2022).

Según la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), México cuenta con la infraestructura de recarga más amplia de la región, con más de 1.000 estaciones de carga instaladas en todo el país. Sin embargo, para la subsecretaría de Planeación de la Movilidad de la Ciudad de México, los autos eléctricos aún están dirigidos a un sector de alto consumo de la población (AMIA, 2022).

### III. Tendencias en el crecimiento de las ventas de VE e impacto en la demanda de electricidad

La tendencia de la demanda energética del sector transporte ha sido creciente durante los últimos años (sielac-OLADE, 2022). Sin embargo, los cambios tecnológicos afectarán los patrones de demanda del sector transporte, principalmente por la disminución de los precios de los VE. Acorde a un estudio realizado por Standard & Poor's, los precios de los VE serán los mismos que los convencionales para el año 2024 (Diana Kinch, 2022). Por lo anterior, la variación de la demanda de electricidad del sector transporte basada en fuentes renovables estará supeditada a las metas de electrificación que cada país disponga en su planificación energética, de acuerdo con la proporción de inserción de vehículos eléctricos estipulados en su plan nacional, lo que requerirá de una coordinación entre las instituciones energéticas y de transporte de los países de la región.

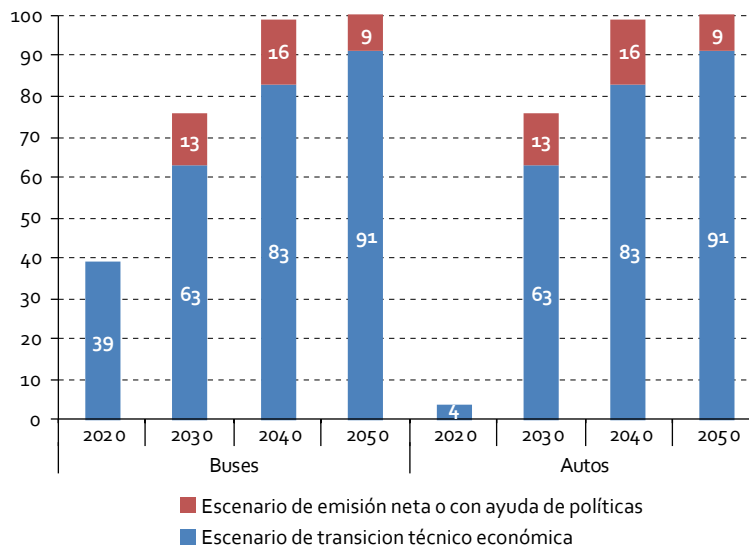
A pesar de que aún la inserción de los VE ha sido menor comparada con la venta de vehículos comerciales 9% vs 91% en 2021 (IEA, 2022), los escenarios de inserción de VE son optimistas en las estimaciones realizadas para 2030, 2040 y 2050. De acuerdo con Bloomberg New Energy Finance (BNEF), se plantea que la adopción de VE está impulsada principalmente por las tendencias de carácter técnico-económicas y las fuerzas del mercado, sin que se introduzcan nuevas medidas políticas para apoyar su crecimiento. Este panorama varía según el segmento, véase gráfico 8.

De acuerdo a los escenarios realizados por BNEF, los autobuses municipales, los vehículos de dos ruedas y los de tres ruedas están casi en camino de llegar a las cero emisiones en 2050, incluso en el escenario de transición impulsada por factores técnico-económicos. Los turismos y los vehículos comerciales ligeros están en una trayectoria positiva, pero seguirán necesitando más apoyo político. Sin embargo, es necesario tomar medidas urgentes en relación con los vehículos pesados en todos los países.

Tomando en cuenta los datos de BNEF, y considerando los estimativos, es posible afirmar que durante los próximos años la demanda de electricidad aumentará dados los cambios tecnológicos, los cuales producirán la inserción de mayores vehículos y buses eléctricos. A fin de dimensionar este crecimiento esperado, para la realización de este documento se ha calculado mediante información estadística disponible en sielac-OLADE la proyección de consumo del sector transporte de energía secundaria gasolina/alcohol, fuel oil, y diésel oil para los años 2030, 2040 y 2050. En base a crecimiento

esperado según escenario *business as usual* (BAU), donde la demanda energética del sector transporte crece a 1,9% anualmente, basado en las tendencias en los últimos 10 años. Los resultados indican que la demanda de electricidad del sector transporte crecerá sustantivamente, véase cuadro 6.

**Gráfico 8**  
Inserción de buses y VE según escenarios de inserción  
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia en base a información de Bloomberg New Energy Finance (BNEF).

**Cuadro 6**  
Demanda estimada de electricidad del sector transporte en América Latina y el Caribe

Escenarios	Miles de TEP <sup>a</sup>	GWH aproximados
2030	246 794	2,9GWH
2040	297 904	3,5GWH
2050	352 893	4,1GWH

Fuente: Elaboración propia en base a información estadística de OLADE, 2022.

<sup>a</sup> Toneladas equivalentes de petróleo.

A la luz de la metodología utilizada la CEPAL ha calculado que en 2050, al electrificar el actual transporte a combustión fósil, la región podría evitar alrededor de 1341 millones de toneladas CO<sub>2</sub> en 2050. Estos resultados son muy similares a los 1100 millones de toneladas evitadas de CO<sub>2</sub> en 2050 proyectadas por UNEP (UNEP, 2019).

## A. El rol de las energías renovables en la electromovilidad

A la luz de los antecedentes es evidente que el crecimiento de las ventas de VE causará un aumento en la demanda de electricidad. Para ello, se hace necesario un entorno que facilite las condiciones para la carga de los VE, lo que requerirá la cooperación multisectorial, tanto del sector transporte como del energético. A continuación se exponen alguno de los aspectos considerados clave para la correcta transición del sector transporte.

## 1. Requerimientos de infraestructura

Según datos provistos por China dialogue, la región aún presenta una alta disparidad en la instalación de infraestructura de carga pública para VE, pues en 2020, el 53% estaba concentrado en México. Por otra parte, muchos países aún están en fase incipiente, con pocas estaciones de carga. De acuerdo con los últimos datos disponibles para la región. En el cuadro 7 es posible analizar el estatus de la red de carga hasta el año 2020 (último año disponible).

**Cuadro 7**  
**Toneladas métricas anuales de CO<sub>2</sub> emitidas en ciudades seleccionadas de buses de pasajeros**

País	Número de estaciones de carga eléctrica públicas en 2020
Argentina	36
Bolivia (Est. Plur. de)	2
Brasil	500
Chile	50
Colombia	80
Costa Rica	141
Ecuador	3
El Salvador	1
Guatemala	1
Honduras	3
México	1 161
Nicaragua	3
Panamá	6
Paraguay	16
Perú	20
República Dominicana	40
Uruguay	50

Fuente: Elaboración propia basada en datos de China dialogue (China dialogue, 2022).

La importancia de seguir avanzando en la instalación de la red de infraestructura radica en que de acuerdo con IRENA, (IRENA, 2019), la recarga de vehículos eléctricos tendrá un impacto en las inversiones de distribución. El alcance de las inversiones en la red (en términos de cables y transformadores) que habrá que hacer en un lugar determinado dependerá al menos de los siguientes parámetros (IRENA, 2019):

- Congestión: como en la red de distribución local antes de cualquier despliegue de VE.
- Características de la carga: el impacto de carga incontrolada de vehículos eléctricos será mayor en lugares con un alto porcentaje de calefacción eléctrica (lo que conlleva un mayor refuerzo de la red). Pero si la carga inteligente es utilizada en estos lugares, puede incluirse un refuerzo de la red más bajo que en los lugares en los que calefacción eléctrica, ya que las redes locales están dimensionadas para picos más altos.
- Activos de generación conectados a bajo nivel de tensión: la integración de altas cuotas de energía solar fotovoltaica conectada a nivel de baja tensión (por ejemplo, en Alemania) podría facilitarse con la carga inteligente, mientras que en los lugares donde la proporción de energía solar fotovoltaica es nula o muy baja, los vehículos eléctricos podrían aumentar la presión sobre las redes locales.
- Límites del código de red y otras regulaciones: los códigos de la red nacional definen las limitaciones físicas en términos de variaciones de tensión y frecuencia que los operadores de la red de distribución tienen que respetar, y la inversión en el refuerzo de la red si se superan estos límites específicos del país debido a la carga de VE.

## 2. Sistemas de carga inteligente

La carga inteligente mediante la integración vehículo-red (VGI<sup>17</sup>) es un medio para gestionar las cargas de los vehículos eléctricos. Esto se lleva a cabo mediante la respuesta de los clientes a las señales de precio, por la respuesta automatizada del EVSE<sup>18</sup> a las señales de control que reaccionan a las situaciones de la red y del mercado, o por una combinación de ambos, respetando las necesidades de disponibilidad de los vehículos de los clientes. Consiste en desplazar algunos ciclos de carga en el tiempo o la modulación de la potencia en función de las restricciones (por ejemplo, la capacidad de conexión necesidades de los usuarios, producción local de energía en tiempo real). La carga inteligente es, por tanto, una forma de optimizar el proceso de carga en función de las limitaciones de la red de distribución y la disponibilidad de energía renovable local, así como las preferencias de los conductores y de los anfitriones de los EVSE (IRENA, 2019).

Si se cargan de forma inteligente, los vehículos eléctricos no sólo pueden evitar añadir tensión a la red local, sino que también proporcionan servicios incluso para cubrir las lagunas de flexibilidad tanto a nivel local como a nivel del sistema (IRENA, 2019).

## 3. El rol del acoplamiento sectorial para la electrificación del sector transporte

Aunque el término “acoplamiento de sectores” es relativamente nuevo, el concepto se ha explorado durante décadas. Se aplicó por primera vez en Alemania para subrayar la importancia de electrificar los sectores del transporte, la industria, los edificios y la calefacción. Inicialmente, el concepto se centraba en aprovechar el exceso de electricidad generada a partir de fuentes de ERV, en particular la energía solar fotovoltaica y la energía eólica, que de otro modo podría reducirse y desperdiciarse (Van Nuffel, 2018). El acoplamiento de sectores también puede proporcionar claros beneficios para un sistema eléctrico más eficiente, electrificado y basado en las energías renovables al permitir servicios auxiliares en los mercados mayoristas de electricidad.

Con el tiempo, el alcance del acoplamiento sectorial se ha ampliado para cubrir la mayor flexibilidad que necesitaría un sistema energético para hacer frente a los nuevos retos de estabilidad de la red que plantea la integración de grandes porcentajes de VRE. Con el apoyo de sistemas digitalizados e inteligentes, las tecnologías de acoplamiento sectorial, como los vehículos eléctricos con carga inteligente, calderas eléctricas, bombas de calor y electrolizadores para la producción de hidrógeno permiten que la demanda responda mejor a los precios de la electricidad o a otras señales en una red físicamente interconectada (IRENA, 2021).

Esto hace posible que un sistema integrado con las redes eléctricas, el sistema de transporte y de energía térmica optimice económicamente el funcionamiento global como un solo sistema, siempre que se establezcan los incentivos económicos para dicha integración (por ejemplo, mecanismos de precios de apoyo). A cambio, esto facilitaría la descarbonización de sectores de uso final cuya demanda de energía tradicionalmente se ha satisfecho principalmente con combustibles fósiles, como la gasolina y el gasóleo para el transporte (más del 95%), y el gas natural, el carbón o el petróleo para la calefacción en edificios (más del 55%) (Abergel & Delmastro, 2020). La literatura especializada identifica en relación al acoplamiento de sectores tres áreas: i) las aplicaciones de las tecnologías de acoplamiento sectorial, que van desde los usuarios finales hasta la generación de energía utilizando fuentes/portadores multi energéticos fuentes/portadores de energía; ii) el análisis tecno económico basado en modelos de las

<sup>17</sup> VGI (por sus siglas en inglés de *Vehicle grid Integration*): La integración de los vehículos en la red convierte la demanda de electricidad de los vehículos eléctricos en una carga flexible, y el componente de almacenamiento de energía (es decir, la batería) abre la puerta a servicios y beneficios adicionales, tanto para el usuario del vehículo como para la empresa de servicios públicos, incluyendo el almacenamiento de energía renovable intermitente, servicios de red y energía de reserva (cleantech, 2022).

<sup>18</sup> EVSE (por sus siglas en inglés de *Electric Vehicle Supply Equipment*): Los equipos de alimentación de vehículos eléctricos (EVSE) suministran electricidad a un vehículo eléctrico (VE). Comúnmente llamados estaciones de carga o muelles de carga, proporcionan energía eléctrica al vehículo y la utilizan para recargar las baterías de este. Los sistemas EVSE incluyen los conductores eléctricos, los equipos relacionados, el *software* y los protocolos de comunicación que suministran energía de forma eficiente y segura al vehículo (NEMA, 2022).



opciones de acoplamiento de sectores, sus costes y beneficios asociados; incluida la reducción de emisiones; y iii) el papel del acoplamiento de sectores en las estrategias de descarbonización a varias escalas. Por ejemplo, la Comisión Europea considera el acoplamiento de sectores como una estrategia para construir un sistema energético altamente flexible e integrado. El objetivo es lograr la descarbonización de todo el sistema de manera rentable mediante la combinación de la electrificación de los sectores de uso final y el acoplamiento de diferentes vectores energéticos en el lado de la oferta de energía (European Commission, 2018), (IRENA, 2021).

#### **4. La planificación de la electromovilidad**

Para una eficiente asignación de recursos e instalación de redes de infraestructura para la carga de VE se deberá comprender cuándo y dónde se producirá la carga. En este sentido, el Programa de Cooperación regional CEPAL-BMZ/GIZ “Ciudades inteligentes, inclusivas y sostenibles (CISI) en el marco de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe” ha desarrollado en el año 2022 un proceso metodológico para 4 ciudades en estudio, a fin de contribuir a esta coyuntura.

La importancia de la planificación radica en establecer incentivos y criterios para ayudar a las empresas de servicios públicos a optimizar la ubicación de los cargadores, a desplegar la medición avanzada de forma proactiva (permitiendo tarifas eléctricas variables en función del momento de la carga) y a desarrollar una tarificación diferencial en función de la ubicación (incentivando la carga en algunos lugares y desaconsejándola en otros). La demanda de electricidad de los vehículos eléctricos no será uniforme en todas las ubicaciones y zonas geográficas, sino que variará en función de la aceptación del vehículo, su tamaño y la velocidad de carga. Las empresas de servicios públicos tienen que saber cuándo y dónde se utilizarán y cargarán los vehículos eléctricos, y trabajar con los operadores de la red de carga, las flotas y otros operadores de estaciones de carga para colocar los cargadores cerca de la demanda, minimizando las adiciones y actualizaciones de la infraestructura de distribución (subestaciones, circuitos, interruptores y transformadores de servicio).

En consecuencia, el rol de la planificación no se limita a un ejercicio matemático de dimensionamiento de la demanda a nivel ciudad, sino que también debe converger con los actores del sector transporte y especialistas que conozcan el funcionamiento de los recorridos de buses, su requerimiento energético, eficiencia del motor, entre otras variables que no solo competen al sector eléctrico.



## IV. Externalidades ambientales negativas de las energías solar y eólica

### A. Solar

Dependiendo de su ubicación, las instalaciones solares de mayor tamaño pueden plantear problemas de degradación del suelo y pérdida de hábitat. La superficie total necesaria varía en función de la tecnología, la topografía del lugar y la intensidad del recurso solar. Las estimaciones para los sistemas fotovoltaicos a escala comercial oscilan entre 1,5 y 4 hectáreas por megavatio.

A diferencia de las instalaciones eólicas, los proyectos solares tienen menos posibilidades de compartir terrenos con usos agrícolas. Sin embargo, el impacto de los sistemas solares a escala de servicio público puede minimizarse situándolos en lugares de menor calidad, como terrenos baldíos, terrenos mineros abandonados o corredores de transporte y transmisión existentes. Las instalaciones solares fotovoltaicas de menor tamaño, que pueden construirse en viviendas o edificios comerciales, también tienen un impacto mínimo en el uso del suelo (UCSUSA).

La construcción de instalaciones solares en grandes extensiones de terreno impone el desmonte y la nivelación, lo que provoca la compactación del suelo, la alteración de los canales de drenaje y el aumento de la erosión. Los sistemas de torres centrales requieren el consumo de agua para su refrigeración, lo cual es preocupante en entornos áridos, ya que un aumento de la demanda de agua puede poner a prueba los recursos hídricos disponibles, así como los vertidos químicos de las instalaciones, que pueden dar lugar a la contaminación de las aguas subterráneas o de la superficie del suelo.

Como ocurre con el desarrollo de cualquier instalación industrial a gran escala, la construcción de centrales de energía solar puede suponer riesgos para la calidad del aire. Entre estos peligros se encuentran la liberación de patógenos transportados por el suelo y el aumento de las partículas en el aire, que tienen el efecto de contaminar los depósitos de agua.

Algunos han argumentado que las últimas tecnologías introducidas en el mercado, en concreto los paneles de capa fina, se fabrican con metales pesados peligrosos, como el telurio de cadmio. Si bien es cierto que la fabricación de paneles solares utiliza estos materiales peligrosos, el carbón y el petróleo también contienen las mismas sustancias, que se liberan con la combustión.

Cabe mencionar que las centrales eléctricas a carbón emiten mucha más cantidad de estas sustancias tóxicas, contaminando hasta 300 veces más que los fabricantes de paneles solares (Greenmatch).

## B. Eólica

En general, utilizar el viento para producir energía tiene menos efectos sobre el medio ambiente que muchas otras fuentes de energía. Los aerogeneradores no liberan emisiones que puedan contaminar el aire o el agua (salvo raras excepciones), y no necesitan agua para su refrigeración. Los aerogeneradores también pueden reducir la cantidad de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles, lo que se traduce en una menor contaminación total del aire y de las emisiones de dióxido de carbono.

Un aerogenerador individual tiene una huella física relativamente pequeña. Los grupos de turbinas eólicas, a veces denominados parques eólicos, se ubican en terrenos abiertos, en crestas de montañas o en la costa de lagos u océanos.

La mayoría de los proyectos de energía eólica en tierra requieren carreteras de servicio que se suman a los efectos físicos sobre el medio ambiente. La producción de los metales y otros materiales utilizados para fabricar los componentes de las turbinas eólicas tiene impactos en el medio ambiente, y es posible que se hayan utilizado combustibles fósiles para producir los materiales. Aunque la mayoría de los materiales utilizados para fabricar aerogeneradores pueden reutilizarse o reciclarse, las palas de las turbinas, tal y como se construyen actualmente, no pueden reciclarse.

Los investigadores del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) en Estados Unidos, establecieron un enfoque para la fabricación de palas de aerogeneradores, empleando un sistema de resinas termoplásticas. Estas resinas termoplásticas hacen posible un proceso de fabricación que permite reciclar las palas de los aerogeneradores al final de su vida útil y que, además, reduce la energía necesaria para fabricar las palas. Por otro lado, las turbinas eólicas modernas pueden ser máquinas muy grandes, y pueden afectar visualmente al paisaje. Un pequeño número de turbinas eólicas también se han incendiado y algunas han tenido fugas de fluidos lubricantes, pero estos sucesos son raros.

Puede que a ciertos habitantes les desagrade el sonido que hacen las palas de los aerogeneradores al girar con el viento. Algunos tipos de aerogeneradores y proyectos eólicos provocan la muerte de aves y murciélagos. Estas muertes pueden contribuir a la disminución de la población de especies también afectadas por otros impactos relacionados con el hombre. La industria de la energía eólica y el gobierno de Estados Unidos están investigando formas de reducir el efecto de las turbinas eólicas sobre las aves y los murciélagos (Greenmatch).

## V. Conclusiones

A pesar de que se han creado distintos tipos de instrumentos económico/ambientales por las instituciones de los países de la región (ministerios de hacienda, servicios de impuestos internos, entes fiscales), con el objeto de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la compra de VE y generar incentivos para su pronta adopción, se observa que estos instrumentos se han adelantado a las posibilidades de asequibilidad a estos vehículos, puesto que el costo de estos automóviles aún no han alcanzado un precio de equilibrio con los vehículos convencionales, por lo que la posibilidad de adquisición se reduce a segmentos de vehículos de lujo. Por ejemplo, en Estados Unidos los VE están ubicados en el segmento de lujo que corresponde a un (19,9%) del total del mercado (WFLA, 2021). En consecuencia, es seguro que impactos relevantes no se verán hasta que todos los segmentos de vehículos se electrifiquen en base a fuentes renovables. Con todo, es importante señalar que una mayor demanda de la electromovilidad se ha iniciado a firme desde el transporte público (concesiones, compra directa, y otros modelos). En este sentido, cabe señalar que el rol de los gobiernos y las instancias reguladoras serán fundamentales para acelerar esta transición vehicular en el área del transporte público de las ciudades.

Lo anterior permite afirmar que si en el año 2024 los vehículos alcanzan un punto de equilibrio en cuanto a precios con los vehículos convencionales a Diesel (Diana Kinch, 2022), la región antes que termine esta década deberá centrar sus esfuerzos en incorporar a las energías renovables al sector generación de electricidad, de manera de evitar trasladar emisiones de CO<sub>2</sub> desde la matriz eléctrica actual que se compone de 36% de generación térmica no renovable (sieLAC-OLADE, 2022). Además, para concretar este avance hacia una matriz eléctrica más renovable, que sea capaz de atender la demanda de un sector transporte basado en baterías y fuentes eléctricas, la institucionalidad de los países de la región deberá avanzar hacia mejorar el diálogo entre los sectores energía y transporte, de manera de lograr un acoplamiento sectorial basado en prospectivas de uso y demanda de ambos sectores.

En términos de estimación de emisiones evitadas a 2050, se estableció una metodología para calcular las posibles emisiones evitadas al electrificar el sector transporte, con el fin de ofrecer una comparación de resultados. En este ámbito, se ha calculado que la región podría evitar 1341 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> a 2050, resultados muy similares a los propuestos por el PNUMA.

En cuanto a recopilación de indicadores para ofrecer una visión certera, que señalen los impactos sobre la salud a nivel de ciudad para los cuatro países analizados, se recomienda el desarrollo de metodologías

para su medición, a entidades encargadas de asuntos de salud pública, de manera de poner suma urgencia a la electrificación del transporte, para así concientizar a nivel de ciudad sobre sus efectos, puesto que como se ha demostrado, diversas patologías pueden desarrollarse con ciudades contaminadas, pero datos certeros aún deben ser provistos.

Las condiciones habilitantes del sector eléctrico que permitirán la movilidad del futuro aún resultan de suma urgencia, sobre todo en términos de infraestructura, puesto que la región aún pierde alrededor de un 14% de su electricidad en transmisión y distribución. Sumado a lo anterior, la red requerirá responder eficientemente a los periodos de sobre carga de la demanda por electromovilidad, por lo que los modelos de demanda deberán incorporar la variable de recarga de vehículos en todas sus dimensiones.

Un tema muy relevante para la sostenibilidad del sector transporte, es el manejo de desechos una vez que la flota de vehículos a combustión fósil salga del mercado. En este sentido, aún son muchos los desafíos en términos de reutilización y manejo de desechos. Según la revista *nature*, las estrategias circulares para tratar los residuos incluyen la reutilización, la reparación, el reacondicionamiento, la refabricación y el reciclaje. Ya existen mercados de piezas de segunda mano y de automóviles bien desarrollados que pueden prolongar la vida útil de los vehículos, y una cuestión clave será la vida útil óptima y las estrategias circulares, cuyos matices cambiarán con el tiempo.

Finalmente, es necesario equilibrar los costes medioambientales de la prolongación de la vida útil de los vehículos con motor de combustión fósil y de los vehículos eléctricos con los beneficios medioambientales de enviarlos a reciclaje para reutilizar componentes y materiales para crear vehículos eléctricos sostenibles (Nature, 2022). Cabe mencionar que bajo condiciones ideales, se ha calculado que el reciclaje de las baterías de los vehículos eléctricos al final de su vida útil podría proporcionar el 60% del cobalto, el 53% del litio, el 57% del manganeso y el 53% del níquel necesarios a nivel mundial en 2040 (Dunn, J., Slattery, M., Kendall, et al., 2021). Además de las estrategias de reparación y mantenimiento, también existen estrategias para intensificar el primer uso de los vehículos eléctricos mediante la utilización de la capacidad ociosa del vehículo mediante planes de compartir vehículos, pero por sobre todo con el aumento de la flota de buses eléctricos, de manera de incentivar el uso de transportes compartidos y no solo descontaminar las ciudades, sino también hacerlas más habitables en los términos que señala UN-habitat.

## Bibliografía

- Abergel & Delmastro. (2020). *Is cooling the future of heating?* Obtenido de [www.iea.org/commentaries/is-cooling-the-future-of-heating](http://www.iea.org/commentaries/is-cooling-the-future-of-heating).
- ACEA. (2014). Brussels, Belgium.
- \_\_\_\_\_. (2012). *European Automobile Manufacturers Association*. Brussels, Belgium.
- AMIA. (2022). *Publicaciones*. Obtenido de <https://www.amia.com.mx/publicaciones/>.
- Anenberg, Miller, et al. (2019). Obtenido de [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global\\_health\\_impacts\\_transport\\_emissions\\_2010-2015\\_20190226.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Global_health_impacts_transport_emissions_2010-2015_20190226.pdf).
- CEPAL. (2021). *Transición Energética: Hacia una mayor cooperación en integración*. Obtenido de [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/rayen\\_quiroga.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/rayen_quiroga.pdf).
- China dialogue. (2022). Obtenido de <https://dialogochino.net/en/climate-energy/44044-latin-americas-nascent-electric-car-market/>.
- Cideu. (2022). Cideu. Obtenido de <https://www.cideu.org/miembro/buenos-aires/>.
- CleanVehicle. (2015). *Information per Country and EU Policy—Belgium; European Commission and the Executive Agency for Competitiveness and Innovation*. Brussels, Belgium.
- Cleantech. (2022). Obtenido de <https://www.cleantech.com/vehicle-grid-integration-can-ev-users-and-the-grid-be-reconciled/#:~:text=Vehicle%20grid%20integration%20turns%20the,grid%20services%20and%20backup%20power>.
- Coffman et al. (2017). Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption. *Transport Reviews*.
- Diana Kinch. (2022). *www.spglobal.com*. Obtenido de <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/052522-ev-price-parity-with-fossil-fuel-cars-by-2023-24-will-change-everything-in-cities-bir-speaker>.
- Donat, L. et al. (2014). *Assessment of Climate Change Policies in the Context of the European Semester*. Obtenido de [https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2014/countryreport\\_be\\_ecologicelacion\\_jan2014\\_o.pdf](https://www.ecologic.eu/sites/default/files/publication/2014/countryreport_be_ecologicelacion_jan2014_o.pdf).
- Dunn, J., Slattery, M., Kendall, et al. (2021). *Circularity of Lithium-Ion Battery Materials in Electric Vehicles*. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c07030>.
- EIA. (2015). *GLOSSARY*. Obtenido de <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php?id=P>.
- EPA. (2022). *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*. Obtenido de <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle#:~:text=typical%20passenger%20vehicle?,A%20typical%20passenger%20vehicle%20emits%20about%204.6%20metric%20tons%20of,around%2011,500%20miles%20per%20year>.

- Eur-lex. (2014). *eur-lex-europa.eu*. Obtenido de Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure.
- European Commission. (2018). "Imports and secure supplies". Obtenido de <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies>.
- Eurostat. (2015).
- Gobierno de Buenos Aires. (2021). *Buses GNC*. Obtenido de *Buses GNC*: [https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/informe\\_prueba\\_piloto\\_buses\\_gnc\\_2021\\_1.pdf](https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/informe_prueba_piloto_buses_gnc_2021_1.pdf).
- Greenmatch. (s.f.). Obtenido de <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/01/impact-of-solar-energy-on-the-environment>.
- IEA. (2022). *Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales*. Obtenido de <https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales>.
- IRENA. (2021). *SECTOR COUPLING IN FACILITATING INTEGRATION OF VARIABLE RENEWABLE ENERGY IN CITIES*. Obtenido de [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA\\_Sector\\_Coupling\\_in\\_Cities\\_2021.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_Sector_Coupling_in_Cities_2021.pdf).
- \_\_\_\_\_. (2019). *SMART CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLES*. Obtenido de <https://www.irena.org/publications/2019/May/Innovation-Outlook-Smart-Charging>.
- KPMG. (2020). *Future Mobility*. Obtenido de <https://home.kpmg/xx/en/home/industries/infrastructure/future-mobility.html>.
- Malvik, H. e. (2016). The Future Is Electric! The EV Revolution in Norway—Explanations and Lessons Learned. 995-1005. Obtenido de [https://www.ecee.org/library/conference\\_proceedings/ecee\\_Summer\\_Studies/2013/4-transport-and-mobility-how-to-deliver-energy-efficiency/the-future-is-electric-the-ev-revolution-in-norway-explanations-and-lessons-learned/](https://www.ecee.org/library/conference_proceedings/ecee_Summer_Studies/2013/4-transport-and-mobility-how-to-deliver-energy-efficiency/the-future-is-electric-the-ev-revolution-in-norway-explanations-and-lessons-learned/).
- Mckinsey. (2021). *The impact of electromobility on the German electric grid*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-impact-of-electromobility-on-the-german-electric-grid>.
- Ministerio de Energía de Chile. (2020). *Plataforma de Electromovilidad*. Obtenido de <https://energia.gob.cl/electromovilidad/transporte-de-pasajeros/buses-electricos-en-argentina>.
- Ministerio de Hacienda de Colombia. (2020). *Agenda Regulatoria*. Obtenido de [https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/Minhacienda/pages\\_normativa/ProyectoDecretos/proyectosdecretosyagendaregulatoria2020](https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/Minhacienda/pages_normativa/ProyectoDecretos/proyectosdecretosyagendaregulatoria2020).
- Nature. (2022). *A circular economy approach is needed for electric vehicles*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41928-021-00711-9>.
- NEMA. (2022). *Electric Vehicle Supply Equipment/System*. Obtenido de <https://www.nema.org/directory/products/view/electric-vehicle-supply-equipment-system>.
- OCEANA. (2022). *Cambio climático*. Obtenido de <https://europe.oceana.org/es/cambio-climatico#:~:text=El%20CO2%20y%20otros%20contaminantes,m%C3%A1s%20se%20calentar%C3%A1%20el%20planeta>.
- OMM. (2019). *wmo.it*. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-climatico>.
- PAHO. (2021). *Calidad del aire*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.
- PNUMA. (2020). *Carbono cero*. Obtenido de [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34532/oCLAC\\_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34532/oCLAC_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y).
- revistaei. (2020). Obtenido de <https://www.revistaei.cl/2020/11/04/en-2024-los-autos-electricos-costaran-lo-mismo-que-los-convencionales/#>.
- sieLAC-OLADE. (2022). sieLAC. Obtenido de <https://sielac.olade.org/>.
- UCSUSA. (s.f.). *Environmental Impacts of Solar Power*. Obtenido de <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power>.
- UN. (2021). *Día Mundial de las Ciudades*. Obtenido de <https://www.un.org/es/observances/cities-day/messages>.
- UNEP. (2019). Obtenido de <https://euroclimaplus.org/seccion-publicaciones/pais-region/america-latina-y-el-caribe/carbono-cero-2019/viewdocument/232>.
- UN-Habitat&WHO. (2021). *unhabitat.org*. Obtenido de [https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/21116\\_spanish\\_integrating\\_health\\_in\\_urban\\_and\\_territorial\\_planning.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/21116_spanish_integrating_health_in_urban_and_territorial_planning.pdf).



- \_\_\_\_\_ (2019). Obtenido de [https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-06/sustainable\\_urban\\_mobility\\_and\\_public\\_space.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-06/sustainable_urban_mobility_and_public_space.pdf).
- Van Nuffel. (2018). *Sector coupling: How can it be enhanced in the EU to foster grid stability and decarbonise?* European Parliament, Brussels. Obtenido de [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626091/IPOL\\_STU\(2018\)626091\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/626091/IPOL_STU(2018)626091_EN.pdf).
- WFLA. (2021). *WFLA*. Obtenido de [https://www.wfla.com/tampa-hoy/nacional/cual-es-el-estado-que-tiene-mas-autos-de-lujo/#:~:text=\(iSeeCars\)%20%E2%80%93%20Los%20autom%C3%B3viles%20de,veh%C3%ADculos%20en%20los%20Estados%20Unidos](https://www.wfla.com/tampa-hoy/nacional/cual-es-el-estado-que-tiene-mas-autos-de-lujo/#:~:text=(iSeeCars)%20%E2%80%93%20Los%20autom%C3%B3viles%20de,veh%C3%ADculos%20en%20los%20Estados%20Unidos).
- Worldbank. (2022). *macrotrends*. Obtenido de <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/gdp-growth-rate#:~:text=World%20gdp%20growth%20rate%20for,a%200.67%25%20increase%20from%202016>.



En este documento se busca brindar respuestas a los impactos ambientales que pueden resolverse si se transforma la movilidad urbana basada en combustibles fósiles a una que sea eléctrica, sustentada por energías renovables, en apoyo a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Sin duda, la electrificación del transporte público y privado en América Latina y el Caribe ofrece amplias ventajas, no solo por ser más eficiente que las tecnologías de transporte que dependen de los combustibles fósiles, sino porque, además, reduciría significativamente el costo del transporte público y privado, dado que actualmente las energías renovables son considerablemente más económicas que los combustibles fósiles, incluido el carbón. En este documento se ofrece, además, una metodología de análisis para el estudio de los impactos ambientales y se formulan cuatro análisis de caso para Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México y São Paulo.