



# Transporte y transición energética: hacia una movilidad sustentable

---

- Eficiencia energética y electrificación en el transporte terrestre

- Transición energética en la movilidad urbana

- Políticas de transporte sostenible

- Cómo descarbonizar el transporte de carga



## Mensajes clave

**1**

El transporte en América Latina y el Caribe es responsable de un 12 % del total de emisiones directas de gases de efecto invernadero y del 25 % de las emisiones energéticas. Casi el 90 % de esas emisiones corresponde a vehículos terrestres. En términos per cápita, las emisiones son sustancialmente menores que las de países desarrollados, pero han crecido fuertemente en las últimas décadas debido al aumento del número de vehículos particulares y de carga.

**2**

Los notables avances tecnológicos han hecho posible la electrificación de los vehículos particulares, pero esta se ve muy restringida en la región debido a lo costoso que resulta adquirirlos. Promover la electrificación de vehículos particulares mediante subsidios a su compra no parece adecuado debido a su costo fiscal, su sesgo regresivo y su escaso impacto en la adopción de nuevos vehículos.

**3**

La electrificación a gran escala del transporte de carga pesada aún resulta muy costosa, por lo que los esfuerzos de disminución de las emisiones en dicho sector pasan por mejorar su eficiencia y utilizar en mayor medida combustibles alternativos, como los biocombustibles. El transporte de carga en trenes supone menos emisiones, pero su viabilidad económica requiere de una escala que lo justifique.

**4**

El transporte de carga liviano, en especial el que está abocado a la logística urbana, tiene un gran potencial de descarbonización mediante la electrificación. Esta se vuelve económicamente rentable debido a que ese transporte necesita menos potencia que el de carga pesada y su uso intensivo acelera la recuperación de la inversión. La elevada informalidad y atomización del sector son desafíos para avanzar en esa electrificación.

## 5

Si bien dos tercios de los viajes de personas en las grandes ciudades de la región se realizan en modalidades sostenibles, los automóviles privados son los principales responsables de las emisiones. Disminuir su uso en favor del transporte público y las modalidades activas no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también las de material particulado, la contaminación sonora, la congestión y los accidentes. Varios de estos costos no se evitan y hasta empeoran con la electrificación de los automóviles, lo que constituye una razón adicional para evitar subsidiar su adquisición.

## 6

La transición energética supone una oportunidad para la electrificación de los buses, que ya está avanzada en varias ciudades de la región. Si bien los costos de operación de los buses eléctricos son menores que los de combustión interna, su precio de compra es elevado, lo que requiere subsidios y financiamiento para preservar la sostenibilidad financiera y la asequibilidad de los sistemas de transporte público urbano.



# Transporte y transición energética: hacia una movilidad sustentable<sup>1</sup>

## Introducción

El sector del transporte en América Latina y el Caribe (ALyC) genera el 12 % de las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) y el 25 % de las emisiones energéticas de la región. En términos per cápita, estas emisiones alcanzan aproximadamente 1 tonelada de dióxido de carbono equivalente por habitante y por año (tCO<sub>2</sub>eq/hab./año), un 15 % por debajo del promedio mundial, casi la mitad de las que produce Europa y cinco veces menos que las de Estados Unidos (Minx et al., 2021). La enorme mayoría de las emisiones del transporte latinoamericano y caribeño son producidas por vehículos terrestres. Estos generan el 85 % del total de emisiones del transporte de América Latina y el 88 % de las del Caribe (Minx et al., 2021). Aproximadamente la mitad de dichas emisiones corresponden a automóviles y el resto, a vehículos de carga y autobuses (Vergara et al., 2021).

Las emisiones directas del transporte se producen porque los motores que impulsan los vehículos usan combustibles fósiles. El imperativo climático y el

progreso tecnológico hacen necesaria una transición energética en el sector que disminuya esas emisiones. Esto se logrará mediante tres mecanismos, enumerados a continuación y presentados en profundidad en este capítulo.

En primer lugar, distintas formas de transporte generan distintos niveles de emisiones. Por tanto, la transición energética pasa por utilizar en mayor medida las formas menos contaminantes. Cambiar la forma en que las personas se mueven en las ciudades constituye, de hecho, la clave de dicha transición en esas áreas, debido a que la caminata, la bicicleta y el transporte público masivo generan sustancialmente menos emisiones que los automóviles alimentados con combustible fósil. En el transporte de carga, en ciertos contextos, puede ser económicamente viable sustituir los viajes realizados en camión por traslados en tren.

<sup>1</sup> Este capítulo fue elaborado por Guillermo Alves y Juan Odriozola con la asistencia de investigación de Facundo Lurgo y Franco Degiuseppe.

En segundo lugar, el progreso tecnológico ha hecho que en muchos contextos sea económicamente conveniente electrificar los motores. Un componente fundamental de dicho progreso ha sido el abaratamiento de las baterías. En general, la ecuación económica de los vehículos eléctricos supone mayores costos de adquisición y menores costos de uso con respecto a los convencionales. Esto implica que la rentabilidad de la electrificación de los vehículos crece con su utilización y será mayor en aquellos vehículos que más se usan, como los taxis, buses urbanos y el transporte de carga en la última milla. Al mismo tiempo, los mayores costos de adquisición suponen un desafío en términos de financiamiento. En el transporte colectivo urbano, dicho desafío ha sido abordado mediante innovaciones institucionales que facilitan el financiamiento mediante la separación de la propiedad y la gestión de los buses.

En tercer lugar, incluso manteniendo los vehículos con motores a combustión, existen enormes

oportunidades para reducir las emisiones mejorando la eficiencia de esos motores y, en el caso del transporte de carga, la eficiencia de la cadena logística, de forma que disminuya la circulación de camiones con capacidad ociosa. El descenso de las emisiones por parte de los motores a combustión se logra, por un lado, reduciendo la antigüedad de los vehículos, para contar con motores más eficientes y, por otro, utilizando combustibles que generen menos emisiones que la gasolina, como los biocombustibles, el gas natural y el hidrógeno.

● ●  
**El 12 % de las emisiones directas de gases de efecto invernadero y el 25 % de las emisiones energéticas de América Latina y el Caribe son generadas por el sector del transporte**

## Transporte, consumo de energía y emisiones

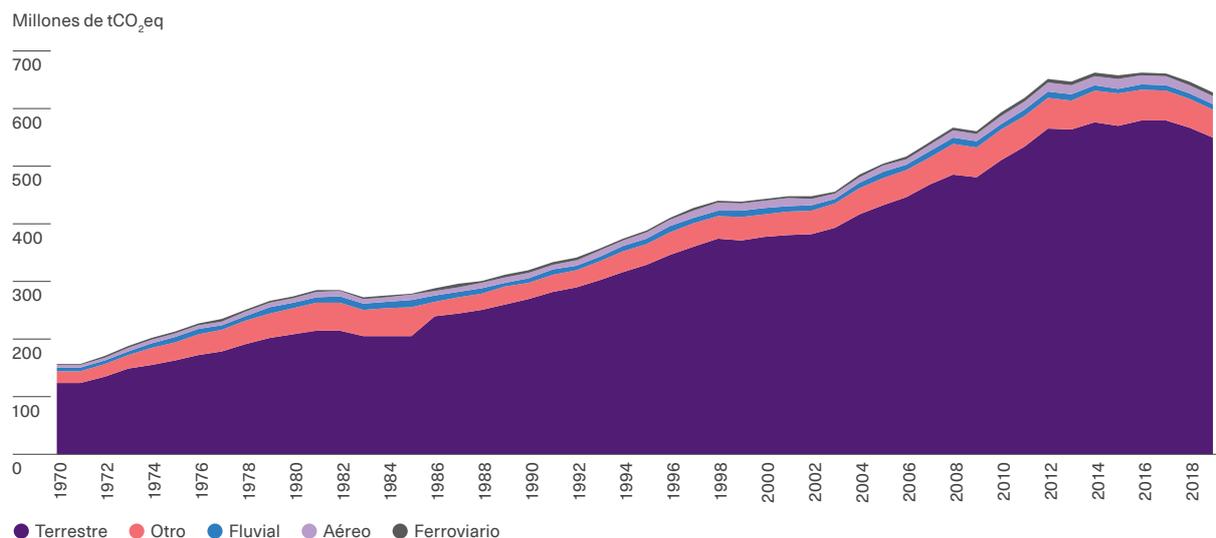
Los derivados del petróleo son uno de los principales insumos energéticos de América Latina y el Caribe. El transporte es el responsable de más de dos tercios del uso total de esos productos. El gráfico 8.1 muestra el enorme crecimiento de las emisiones de GEI generadas por el transporte terrestre en la región. Estas se triplicaron en el último medio siglo debido al incremento tanto del número de automóviles particulares como de camiones de carga. Los primeros crecieron más del 60 % entre 2005 y 2015 (Rivas et al., 2019) y en 2019 casi uno de cada tres hogares poseía, en promedio, al menos un automóvil en la región (Puig y Tornarolli, 2023).

● ●  
**Casi el 90 % de las emisiones del transporte son de vehículos terrestres con motores a combustión, distribuidas en partes iguales entre transporte de carga y de personas**

El gráfico 8.2 presenta, para 18 países, la proporción de hogares con al menos un automóvil, así como la porción entre los de menos y más ingresos. Se observa que los países con un ingreso per cápita más alto tienen una mayor posesión de automóviles y que, dentro de cada país, la tenencia de estos vehículos aumenta con el nivel de renta del hogar. En comparación con los países desarrollados, los promedios de posesión de automóviles en América Latina y el Caribe son considerablemente más bajos. Por ejemplo, en Estados Unidos, más del 90 % de los hogares tiene al menos un vehículo (U.S. Census Bureau, 2022). En la Unión Europea (UE), la cifra representa el 87 % (Vega-Gonzalo et al., 2023) y, en el Reino Unido, alcanza el 78 % (Department for Transport, 2022). América Latina y el Caribe presenta el mayor crecimiento de vehículos privados a nivel global, y se proyecta que su número se triplique para 2050 (SLOCAT, s. f.; Yáñez-Pagans et al., 2018).

### Gráfico 8.1

#### Emissiones de GEI del sector del transporte en América Latina y el Caribe

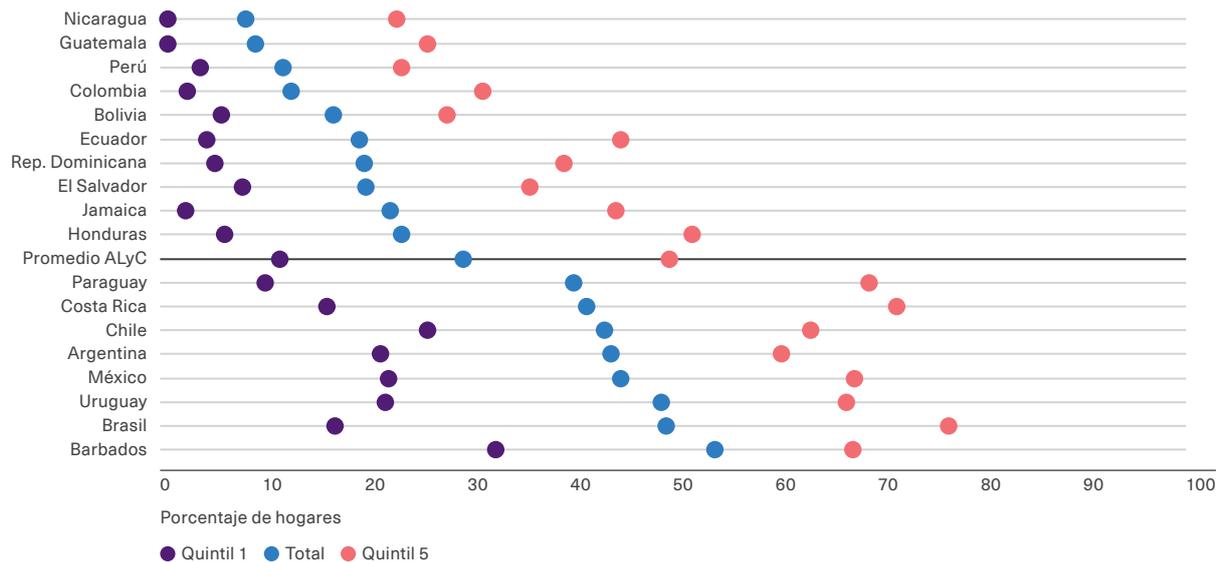


**Nota:** El gráfico muestra la evolución de las emisiones de GEI del sector del transporte, medidas en millones de toneladas equivalentes de carbono (MtCO<sub>2</sub>eq) en ALyC en el periodo 1970-2019 y su distribución según el modo de transporte. Los gases incluidos son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) y gases fluorados. El sector del transporte se divide en terrestre, fluvial, aéreo, ferroviario y otros (donde se incluye el transporte por tuberías).

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Minx et al. (2021).

### Gráfico 8.2

#### Porcentaje de hogares con al menos un automóvil



**Nota:** El gráfico muestra el porcentaje de hogares con al menos un automóvil en países de ALyC y, dentro de cada uno, la posesión según la posición del hogar en la distribución del ingreso per cápita. El dato es el más reciente disponible en encuestas de hogares en el periodo 2014-2021. En el cuadro A.8.1 del apéndice disponible en línea se puede consultar el año de realización de la encuesta en cada país.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Puig y Tornarolli (2023).

El número de vehículos de carga también ha crecido fuertemente en la región, con una tasa anual que se ubicó entre el 5 % y el 7 % en el período 2005-2015 en la mayoría de los países. Estas tasas de crecimiento implican que dicho número se duplicaría en un plazo de 10 a 14 años (Barbero et al., 2020).

Casi la totalidad de los combustibles utilizados en el transporte en América Latina y el Caribe son derivados del petróleo, con la gasolina en primer lugar (69 %), seguida del diésel (28 %) y luego el queroseno y el combustible para aviación (3 %). Desde 1970 hasta 2019, el consumo de gasolina para el transporte aumentó en promedio más del 2,5 % anualmente,

mientras que el de diésel creció en promedio el 4 % anual (OLADE, 2021b). Si bien, como se verá más adelante, existen avances hacia la electrificación del transporte, esta tendencia aún es insignificante comparada con el crecimiento en el número de vehículos a combustión interna en la región.

Dada la importancia del uso y las emisiones del transporte terrestre en la región, así como su potencial de descarbonización en comparación con el transporte aéreo y marítimo, los siguientes apartados se centran en describir el estado de la tecnología en el sector y las oportunidades y barreras para hacerlo más sustentable.

## Eficiencia energética, costos y electrificación en el transporte terrestre

### Vehículos eléctricos

El transporte particular de personas se encuentra relativamente avanzado en cuanto a las tecnologías que permiten su descarbonización. De los 50 componentes de los sistemas energéticos que la Agencia Internacional de la Energía (AIE) considera críticos para la transición energética, solo 3 se encuentran con avances suficientes para lograr un escenario de cero emisiones netas y los vehículos eléctricos son uno de ellos. De forma consistente, las ventas de estos vehículos han crecido exponencialmente a nivel global en los últimos años (AIE, 2023q).



**Los vehículos eléctricos utilizan una tecnología madura. El reciente crecimiento exponencial de sus ventas muestra avances suficientes para lograr los escenarios de cero emisiones netas**

El gráfico 8.3 muestra la proporción de vehículos eléctricos en el total de las ventas (eje izquierdo) y en stock total (eje derecho) en la Unión Europea, Estados Unidos y tres países de América Latina para los que se cuenta con datos. En los países desarrollados, donde la barrera del costo es menor en términos relativos y son frecuentes los incentivos fiscales a la compra de vehículos eléctricos, la penetración de ventas es muy superior a la de América Latina, donde el stock no alcanza el 0,15 % del total en ninguno de los tres países, incluso cuando en Brasil y México existen incentivos para su adquisición (AMIA, 2022; Mobility Portal, 2023).

Parte de la dificultad de la expansión de los vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe se debe a que, al ser un segmento nuevo, no existe un gran mercado de vehículos usados, como en el segmento fósil. Entre 2015 y 2020, cerca de 2 millones de vehículos livianos usados fueron exportados a la región, lo que supone casi un 10 % de la flota global de vehículos usados (AIE, 2023i). Estos vehículos representaron al menos el 70 % de las ventas en Argentina, Brasil, Colombia y Perú (AAP, 2022; Andemos, 2022; CCA, 2023; Fenabreve, 2022). La importancia de estos mercados secundarios

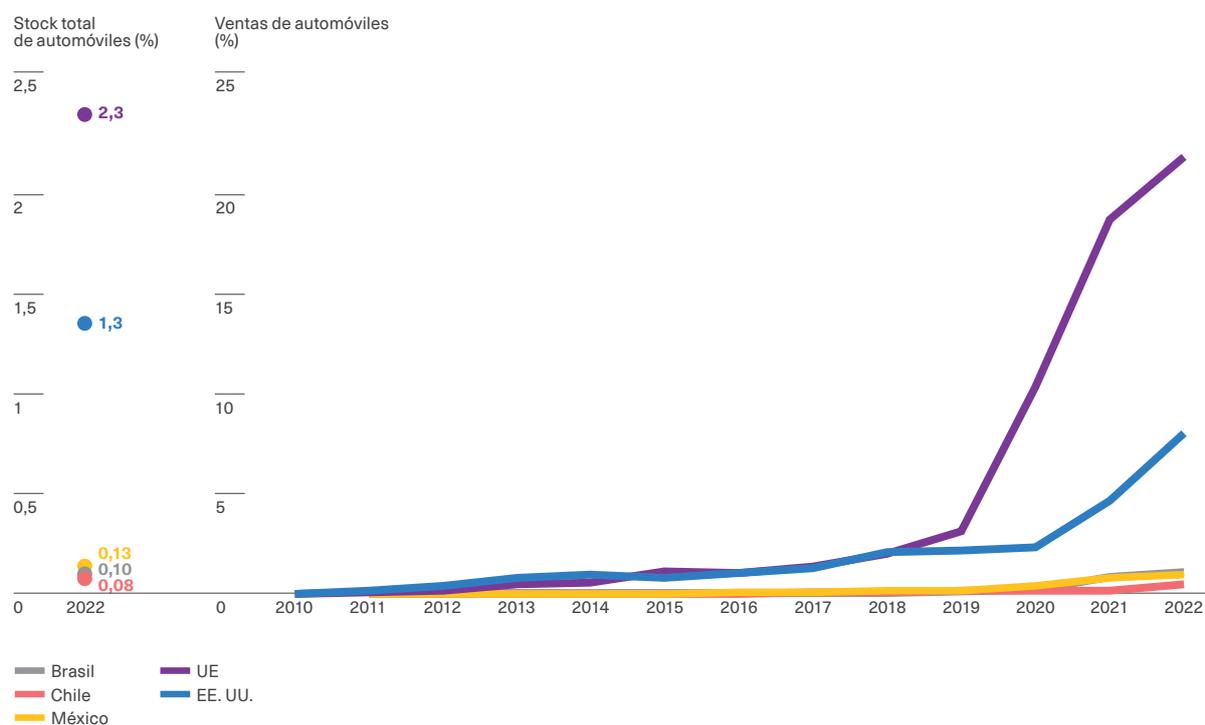
se puede percibir también en la antigüedad de los vehículos particulares urbanos, que en América Latina y el Caribe ronda los 14 años, mientras que en Europa es de aproximadamente 11 años y en Estados Unidos de unos 12 años. Si observamos los parques automotores más grandes de América Latina, Brasil cuenta con un promedio bajo para la región, cercano al promedio europeo, mientras que México y Colombia tienen valores superiores al promedio regional, con una edad de estos vehículos cercana a los 17 años<sup>2</sup>. La inexistencia en el segmento eléctrico de estos mercados secundarios, donde se ofrecen vehículos a precios más bajos, es un

factor más que disminuye la capacidad de la población para adquirirlos.

El crecimiento explosivo a nivel global de los vehículos eléctricos se explica por la aparición de modelos más económicos, por mejoras en general en su autonomía y sus prestaciones y por la existencia de fuertes subsidios en algunos países. A pesar de esto, los precios aún son elevados en comparación con los modelos que funcionan con combustibles fósiles, lo que restringe la expansión rápida de las ventas en países con bajos niveles de ingresos y mercados financieros menos desarrollados.

### Gráfico 8.3

Penetración de los vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe



**Nota:** El gráfico muestra el porcentaje de ventas de automóviles eléctricos respecto a las ventas totales de automóviles entre 2010 y 2022 y el porcentaje del stock de automóviles eléctricos con relación al stock total en 2022 en Brasil, Chile, México, Estados Unidos y el promedio de los 27 países de la UE. Se incluyen vehículos eléctricos a batería (BEV, por sus siglas en inglés) e híbridos eléctricos enchufables (PHEV, por sus siglas en inglés).

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de AIE (2023h).

<sup>2</sup> El cuadro A.8.2 del apéndice, disponible en línea, muestra la edad promedio del parque de vehículos en países de América Latina y la fuente de donde se toma la información para cada uno.

El cuadro 8.1 compara los precios para un grupo de automóviles a combustión interna, eléctricos e híbridos con base en información para diez países de la región<sup>3</sup>. Del cuadro se desprenden cuatro observaciones que apuntan a que la adquisición de los vehículos eléctricos resulta sustancialmente más cara. Primero, uno de los modelos híbridos más vendidos en América Latina y el Caribe en 2023, el Toyota Cross, tiene un costo de adquisición un 20 % mayor que el mismo modelo de combustión fósil. Segundo, dicho modelo es más barato que todos los vehículos eléctricos relevados, excepto el BYD Dolphin, un automóvil compacto con la mitad de autonomía. Tercero, los modelos eléctricos tienen un precio muy superior a los que funcionan con combustibles fósiles. Si se comparan dos modelos similares de un mismo fabricante, como el Nissan Leaf y Sentra, se observa que el precio del modelo eléctrico es 60 % superior al de combustión. Contrastando los modelos más económicos se constata que el auto eléctrico tiene un precio un 175 % superior al de combustible fósil. Al comparar los modelos de precios intermedios, se observa también que un eléctrico es un 40 % más caro que el de combustión fósil. Por último, los modelos eléctricos con mayores autonomías son los más caros de los relevados en el cuadro.

Estos elevados costos limitan la adquisición de vehículos eléctricos por parte de hogares de ingresos bajos y medios. La última columna del cuadro 8.1 muestra, en promedio para la región, cuántos años de ingreso le llevaría a un hogar ubicado en el centro de la distribución del ingreso de cada país comprar cada uno de los modelos. Mientras que los autos con combustibles fósiles requieren entre 6 y 14 años de ingreso, el eléctrico más barato requiere casi 17 años. Los modelos eléctricos de gama media, como el BYD Yuan Plus, requieren 6 años de ingreso adicionales comparados con uno de combustible fósil de gama media, como el Renault KWID. Los eléctricos de gama más alta, como el BYD Han o el Tesla Model S, requieren 40 o más años de ingreso medio para su pago completo.



## Los elevados costos de adquisición y la ausencia de un gran mercado secundario para los vehículos eléctricos son dos barreras de entrada importantes para América Latina y el Caribe

El principal elemento que encarece los vehículos eléctricos es el costo de sus baterías. Las más comunes son las de iones de litio (Li-ion) debido a su elevada eficiencia, menor peso y mayor capacidad (AIE, 2023c). Dada la relevancia de este componente para los vehículos eléctricos, existe preocupación sobre el costo de los minerales necesarios para elaborarlas, derivado principalmente de la disponibilidad de litio. Si bien la AIE proyecta que la capacidad instalada para producción de baterías será suficiente para los objetivos del escenario de cero emisiones, el precio de los minerales necesarios para su producción, principalmente el litio y el níquel, aumentó entre 2020 y 2023, (AIE, 2023a). Entre enero de 2021 y el mismo mes de 2023, el precio del litio se multiplicó casi por nueve. El precio de este mineral cayó fuertemente en el segundo semestre de 2023, estabilizándose en enero de 2024 en un valor similar al de su promedio de 2021. La variabilidad en precios y disponibilidad de este mineral ha motivado intensos esfuerzos para desarrollar baterías que sean menos dependientes del litio. Esto propició el establecimiento de una cadena de suministro de baterías de iones de sodio (Na-ion), las cuales no requieren litio para su desarrollo. Estas baterías son relativamente más baratas que las de Li-ion; sin embargo, tienen menor densidad de energía (AIE, 2023h). Esta densidad se refiere a la energía que se almacena y suministra en kilovatios por hora, por lo que la menor densidad deriva en menos autonomía.

<sup>3</sup> La elección de los modelos se realizó con los siguientes criterios. Primero se buscó el modelo eléctrico o híbrido más vendido en los países seleccionados y se determinó que es el Toyota Corolla Cross híbrido no enchufable; después se tomó su modelo fósil como marco de referencia. Luego se seleccionaron los modelos Nissan por tener presencia en la mayoría de los países seleccionados y poseer ambos tipos de vehículos, lo que facilita la comparación. Luego se buscaron los modelos eléctricos y fósiles que se sitúan en el rango más bajo y en el rango promedio de precios para estos países. De ahí se seleccionaron los BYD Dolphin y Renault KWID como los modelos más económicos, y el BYD Yuan Plus y el Volkswagen Taos como modelos con precios en el rango medio. Finalmente, se seleccionó el BYD Han en tanto que modelo de alta gama con presencia en la región y se comparó con un modelo de referencia eléctrico de alta gama, como es el Tesla Model S.



## Cuadro 8.1

Precios minoristas promedio de automóviles en 10 países en 2023

Modelo	Tecnología	Precio promedio (USD)	Autonomía (km)	Tiempo de carga DC (min)	Años para adquirirlo con ingreso mediano
Toyota Corolla Cross	Híbrido no enchufable	38.476	732	-	17,2
Toyota Corolla Cross	Fósil	32.489	562	-	14,5
Nissan Leaf	Híbrido enchufable	46.362	298	143	20,8
Nissan Sentra	Fósil	28.449	541	-	12,8
BYD Dolphin	Eléctrico	37.166	387	64	16,6
Renault KWID	Fósil	13.495	582	-	6,0
BYD Yuan Plus	Eléctrico	48.554	451	43	21,7
Volkswagen Taos	Fósil	34.442	555	-	15,4
BYD Han	Eléctrico	87.766	551	45	39,3
Tesla Model S	Eléctrico	109.000	637	75	48,8

**Nota:** El cuadro muestra el precio minorista promedio para una selección de vehículos híbridos, eléctricos y de combustión interna en los segmentos SUV, sedán y compacto a mediados de 2023. Para calcular la autonomía de los vehículos fósiles se utilizó el tamaño del tanque de combustible con el rendimiento por litro de combustible. Los valores de la última columna resultan de dividir el precio promedio por la mediana del ingreso per cápita mensual del hogar en cada país. DC son las siglas en inglés que designan la corriente continua para recarga de las baterías. Los detalles sobre países participantes, tipos de cambio utilizados y modelos disponibles en cada país pueden consultarse en los cuadros A.8.3 y A.8.4 del apéndice disponible en línea.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de CEDLAS y Banco Mundial (2022), bancos centrales y distribuidoras oficiales de cada país.

Si bien la adquisición de los vehículos eléctricos es más cara que los de combustión interna, en general su costo de uso es más bajo debido a que el gasto en electricidad es inferior al de combustible fósil. Existen dos limitaciones para que esta ventaja se concrete en mayores ventas. Por un lado, el costo de adquisición es una fuerte señal para los consumidores. Por otro lado, los consumidores deben realizar cálculos relativamente complejos e inciertos para poder cuantificar esa ventaja. Este análisis implica considerar un gran número de variables, como el uso en kilómetros (km) por año, el precio relativo de la gasolina y la electricidad, la existencia de subsidios o impuestos, el tamaño del vehículo, la eficiencia energética, los costos relativos de mantenimiento, los costos de seguros e, incluso, las diferencias en las temperaturas a las que están expuestos los vehículos y las condiciones de las carreteras.

Como ejemplo de la heterogeneidad que existe en la comparación de los costos totales de propiedad<sup>4</sup> entre vehículos eléctricos y a combustión, Burnham et al. (2021) encuentran que dichos costos para vehículos utilitarios eléctricos pequeños en Estados Unidos son superiores a los de combustión interna, siendo los híbridos no enchufables los menos onerosos. Por su parte, Hao et al. (2020) muestran que los vehículos eléctricos en China tienen en general un costo total menor y este diferencial se volvería aún más favorable hacia 2025, con las mejoras previstas en el rendimiento de las baterías y en la infraestructura de carga.

4 El costo total de propiedad evalúa todos los costos de adquisición, posesión y operación de un activo o recurso a lo largo de su ciclo de vida.

## Recuadro 8.1

### Las emisiones en el ciclo de vida de los vehículos particulares

La discusión sobre el impacto de la electrificación de los vehículos suele centrarse en las emisiones evitadas puesto que no queman combustibles fósiles. Sin embargo, el patrón de emisiones de los dos tipos de vehículos difiere también en su fabricación y en su gestión del fin de vida, incluyendo sus componentes.

La fabricación de baterías para vehículos eléctricos es un proceso con una significativa huella de carbono, puesto que son responsables de entre el 40 % y el 60 % de las emisiones asociadas a la producción de dichos vehículos. En términos generales, las emisiones totales resultantes de la fabricación de vehículos eléctricos son aproximadamente el doble de las producidas por uno de combustión interna (EPA, 2023a; Linder et al., 2023). Esta gran diferencia se explica principalmente por la intensidad energética de la minería del litio, el níquel, el cobalto, el manganeso y el grafito, necesarios para elaborar las baterías, y por la propia producción de estos dispositivos. Es importante destacar que la intensidad de emisiones de este proceso está determinada por las fuentes de energía utilizadas en las fases extractivas y productivas. Por ejemplo, la huella de carbono de vehículos eléctricos fabricados en Suecia es menos de la mitad que en China (Linder et al., 2023). Además de una mayor huella de carbono, este proceso tiene más impactos ambientales por distintos tipos de contaminación local asociados a la minería y por su demanda de agua (Crawford, 2022).

En la etapa de uso, los vehículos eléctricos no emiten GEI de forma directa; sin embargo, su intensidad de carbono depende de cómo es generada la electricidad con la que se alimentan. En los casos extremos, un vehículo que es recargado con electricidad generada con carbón tendrá mayores emisiones que otro de combustión interna, mientras que, si esta electricidad es generada con fuentes enteramente renovables, como solar o eólica, las emisiones serán nulas.

El Departamento de Energía de Estados Unidos realizó un cálculo estimativo de las emisiones por el uso de los distintos tipos de vehículos por estado con datos de 2022 (U.S. Department of Energy, 2022a). En estados como Washington, donde la energía hídrica representa casi el 70 % de la matriz eléctrica, el uso de vehículos eléctricos supone un 5 % de las emisiones de uno de combustión interna. En cambio, en el estado de Utah, donde el 57 % de la electricidad se genera con carbón, estos vehículos emiten un 37 % de lo que emitiría un vehículo que se alimenta de fuentes fósiles.

Hall y Lutsey (2018) y Bieker (2021) consideran conjuntamente las emisiones de fabricación y uso en distintos países. Sus análisis muestran que, si bien el impacto final en la mitigación de emisiones depende de las matrices energéticas nacionales, las emisiones totales de los vehículos eléctricos son inferiores a las de los vehículos a combustión interna. La conclusión es válida incluso para el caso de India, que cuenta con la mayor huella de carbono en generación de electricidad entre los países analizados.

Finalmente, la disposición o reciclaje de la batería cuando alcanza el fin de vida presenta un desafío ambiental adicional. El tratamiento inadecuado de las baterías agotadas deriva en contaminaciones de suelos, aire y agua, y amenaza la salud de las personas. A su vez, las baterías de litio en descomposición presentan un riesgo de explosión e incendio (Mrozik et al., 2021). Actualmente, el método de disposición más frecuente es llevarlas a vertederos, aunque el reciclaje y recuperación de los minerales que contienen muestra una tendencia creciente (Mrozik et al., 2021). Un aumento en la tasa de recuperación de estos minerales es también importante para la reducción de las emisiones durante el proceso de fabricación. Estimaciones muestran que el litio, el cobre, el níquel y el cobalto recuperados en la Unión Europea pueden llegar a abastecer entre el 5,2 % y el 11,3 % de su demanda estimada de nuevos minerales (Kastanaki y Giannis, 2023).



## El precio de la gasolina en la mayor parte de los países de la región no refleja los altos costos sociales de la contaminación, el calentamiento global y los accidentes que implica el uso de los automóviles

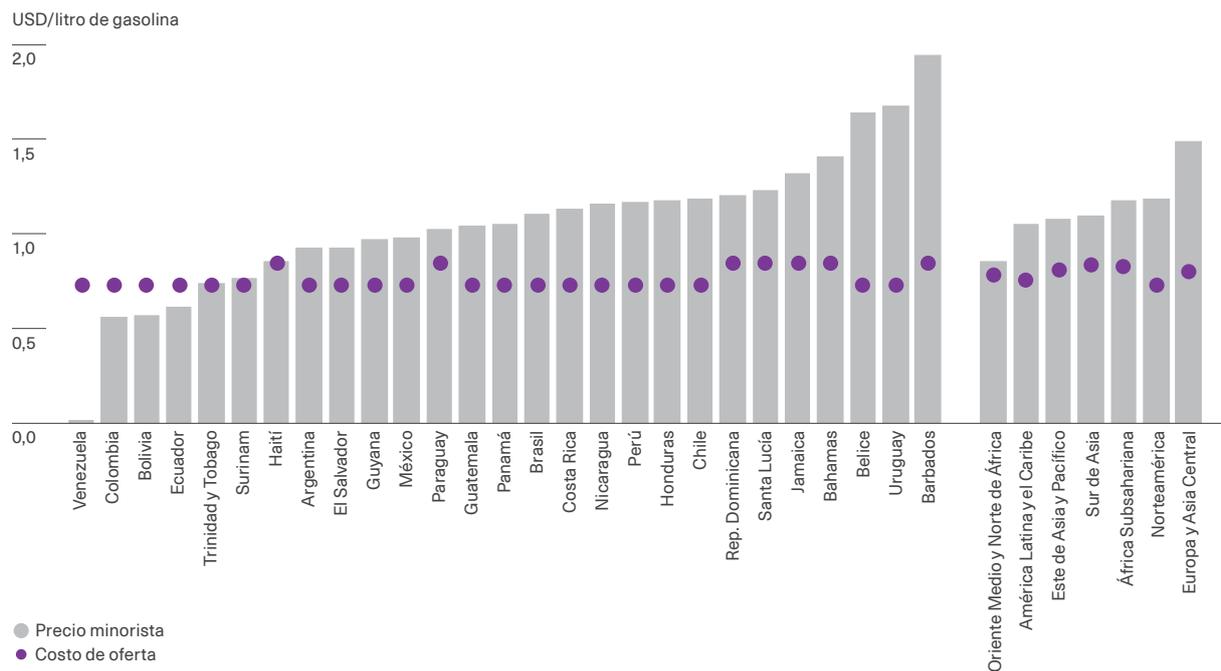
Un componente clave del análisis del costo total de propiedad son los precios de la gasolina y la electricidad. El gráfico 8.4 presenta los costos de producción y precios minoristas en dólares de la gasolina en 2022 en 34 países de América Latina y el Caribe y para el promedio de esos países y de otras seis regiones. Dado que el costo de producir gasolina no varía sustancialmente entre países, las diferencias de precio final minorista reflejan fundamentalmente las distintas políticas de impuestos y subsidios (Parry et al., 2021).

En 2022, solo Bolivia, Colombia, Ecuador y Venezuela tenían precios minoristas inferiores a los costos de oferta, por lo que, si se hace abstracción del costo social que implican las externalidades por el uso de gasolina, en el resto de los países lo que existen son impuestos y no subsidios.

Esas diferencias de impuestos y subsidios entre países generan una gran variedad de precios, que alcanzan máximos de más del 150 % en Barbados, Belice, y Uruguay. Comparando con otras regiones, América Latina y el Caribe tiene precios minoristas promedio similares a los del Este y Sur de Asia, alrededor del 20 % por encima de los valores de Oriente Medio y levemente por debajo de los precios promedio de África Subsahariana y Norteamérica. La región con mayor precio minorista promedio es Europa, con alrededor de 1,5 dólares por litro.

### Gráfico 8.4

Costos y precios minoristas incluyendo impuestos de la gasolina por litro en 2022



**Nota:** El gráfico muestra el costo y precio minorista (incluyendo impuestos y subsidios) de la gasolina por litro, en dólares constantes de 2021, para 27 países de ALyC y promedios regionales para el resto del mundo en el año 2022. Se pueden ver los países que conforman cada región en el apéndice del capítulo disponible en línea. En dicho apéndice también puede consultarse un gráfico similar para el diesel.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Black et al. (2023).

## Recuadro 8.2

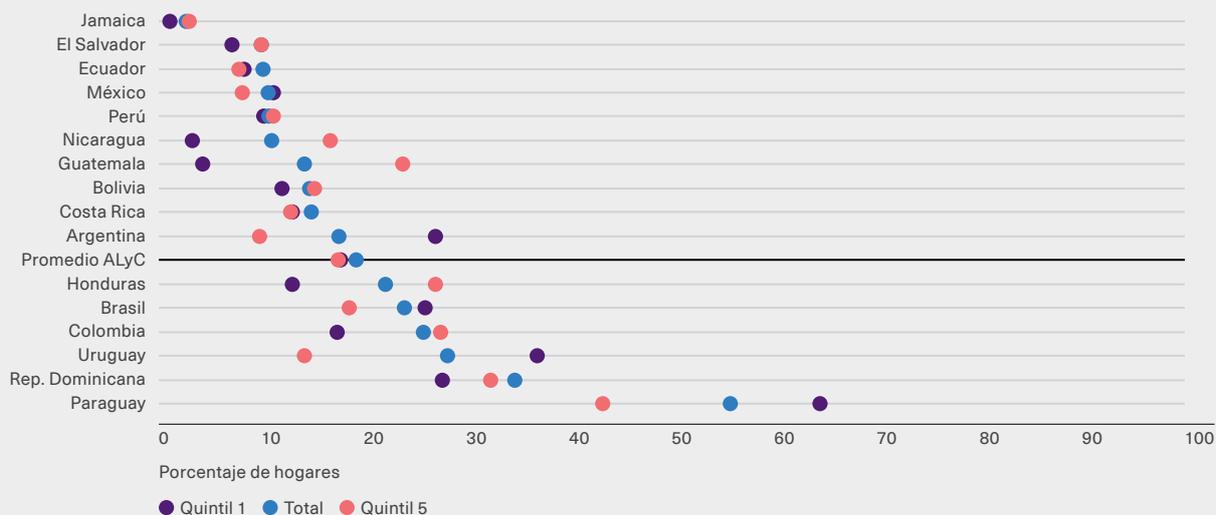
### Transición energética en los vehículos de dos o tres ruedas

Los vehículos de dos y tres ruedas son los de más fácil electrificación debido al menor tamaño de sus baterías, lo que supone un menor impacto en el peso, el costo y la energía necesaria para su recarga (AIE, 2023h). Las motocicletas eléctricas no solo emiten hasta 55 veces menos que las que utilizan gasolina, sino que también reducen la contaminación sonora y del aire (MOVÉS, 2021). Su principal desventaja, independiente del combustible utilizado, está en los daños por accidentes. Mejorar este aspecto requiere políticas activas de prevención y fiscalización.

El gráfico 1 muestra el número de hogares con al menos una motocicleta. Si se compara este gráfico con el 8.2, se observa que los países con mayor posesión de motocicletas, como Paraguay, República Dominicana, Colombia y Honduras (ordenados de mayor a menor), tienen un número relativamente bajo de automóviles. A su vez, en República Dominicana, Colombia y Honduras, los hogares de ingreso más bajo poseen más motocicletas. Esto se explica porque estos vehículos son significativamente más baratos que los automóviles, pero presentan muchas menos prestaciones y comodidades que estos.

### Gráfico 1

Porcentaje de hogares con al menos una motocicleta



**Nota:** El gráfico muestra el porcentaje promedio de hogares con al menos una motocicleta y según su posición en la distribución del ingreso per cápita de su país. El dato es el más reciente disponible en las encuestas de hogares en el periodo 2014-2021. El año exacto de cada encuesta puede consultarse en el cuadro A.8.1 del apéndice del capítulo disponible en línea.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Puig y Tornarolli (2023).

La utilización de motocicletas para la distribución de alimentos, fármacos y documentos, entre otras mercaderías, se ha expandido fuertemente en los últimos años y fue muy alta durante la pandemia por el coronavirus (COVID-19). Puesto que esta actividad supone un uso intensivo de las motocicletas, en términos de kilómetros recorridos, la conveniencia de su electrificación aumenta.

El precio de la gasolina en la mayoría de los países de la región está muy lejos de reflejar los enormes costos sociales que suponen las externalidades negativas en términos de polución, calentamiento global y accidentes que implica el uso de los automóviles. Para considerar estas externalidades, el precio de la gasolina debería estar al menos al nivel del promedio europeo (Parry et al., 2021). En las ciudades

de mayor congestión, como es el caso de varias de las más importantes de América Latina y el Caribe, el precio debería ser aún mayor para así tener en cuenta el mayor costo social que supone dicho fenómeno. Parry y Timilsina (2010) estimaron que el precio de la gasolina en Ciudad de México en 2005 debería haber sido 16 veces más alto para contemplar todas esas externalidades.

## Infraestructura de recarga

En los países desarrollados una de las principales limitaciones a una más acelerada de los vehículos eléctricos es la falta de infraestructura de recarga (Climate Group, 2023). La mayor parte de la carga de los vehículos eléctricos se realiza en el hogar (AIE, 2019a); sin embargo, para que cuenten con las mismas prestaciones y accesibilidad que los de combustión interna, es necesario el desarrollo de una infraestructura de carga similar a las amplias redes de estaciones de abastecimiento de combustibles fósiles. Esta limitación en la infraestructura de carga es responsable de la denominada “ansiedad del alcance” (*range anxiety*, en inglés), que se refiere al miedo a quedarse sin batería antes de llegar al destino (Noel et al., 2019; Pevac et al., 2019; Shrestha et al., 2022).

América Latina y el Caribe cuenta con la ventaja de que la autonomía de los vehículos eléctricos es, en general, suficiente para el uso diario urbano, dado que las distancias por recorrer en sus ciudades no son excesivas (Gómez Gélvez y Mojica, 2016; Kenworthy y Laube, 2002). La región ha avanzado, además, en la instalación de terminales de carga y tiene proyectado seguir invirtiendo en este desarrollo dentro y fuera de las ciudades.

En 2022, la Asociación Costarricense de Movilidad Eléctrica (ASOMOVE) realizó la Ruta Eléctrica Centroamericana, consistente en una caravana que recorrió las capitales nacionales desde Guatemala hasta Panamá, pasando por El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica. Esta caravana aprovechó los puntos de recarga existentes e instaló nuevos cargadores rápidos y semirrápidos que permitieron conectar las seis capitales (Máñez Gomis et al., 2021). Continuando esta iniciativa, la Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible (ALAMOS) trabaja para

conformar cinco rutas que permitan comunicar 15 países de la región. Además de la ya mencionada, los planes incluyen la ruta andina, recorriendo Colombia, Ecuador, Perú y Panamá; la ruta norte, que conectaría la ruta centroamericana con México; la ruta Cono Sur, entre Chile, Argentina, Uruguay, Brasil y Paraguay, y, finalmente, la ruta caribeña, que por el momento incluye República Dominicana y Puerto Rico. Estas rutas serán clave para la electromovilidad y para reducir la ansiedad del alcance en la región.

La figura 8.1 muestra los cargadores instalados y proyectados por país y los electrocorredores que ya están en funcionamiento. Se puede observar que, a pesar de la escasa penetración de ventas de los vehículos eléctricos, los países están avanzando en el desarrollo de esta infraestructura, aunque se necesitarán mayores esfuerzos públicos y privados.

● ●  
**La infraestructura de cargadores eléctricos ha venido creciendo por las inversiones públicas y privadas, aunque será necesario desplegar más esfuerzos focalizados en la calidad y fiabilidad de estos dispositivos**

El avance en las políticas de promoción de los vehículos eléctricos está generando interés a nivel privado para la instalación y manejo de cargadores. La empresa Volvo, en una alianza con Evergo, anunció la instalación de 2.295 cargadores para 2025 (Evergo, 2023), mientras que Porsche anunció 550, aunque estos serán exclusivos para sus vehículos (Porsche, 2022).

**Figura 8.1**

Cargadores por país y electrocorredores en América Latina y el Caribe



**Nota:** La figura muestra el mapa de cargadores para vehículos eléctricos instalados por país en ALyC (recuadros violeta) y los electrocorredores en funcionamiento (líneas rosa). El corredor 13 no está representado en el mapa porque recorre 196 cargadores en 11 países. Para conocer la fuente de información exacta correspondiente a cada país y detalles sobre los electrocorredores, se pueden consultar los cuadros A.8.5 y A.8.6 del apéndice disponible en línea.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de Liborio (2023), Electromaps (2023), Venditti (2023), Diario Sustentable (2023) e Instituto Mexicano del Transporte (2022).

Además del crecimiento del parque de cargadores, es importante la calidad y fiabilidad de estos dispositivos. Ambas características adquirirán aún más relevancia a medida que la penetración de los vehículos eléctricos aumente. El incremento en la utilización de estos cargadores puede generar congestión no solo en los propios aparatos de carga, sino también

en la red eléctrica. Este problema puede ser mitigado con cargadores inteligentes, estaciones de carga en puntos donde los picos de demanda no congestionen la red, paneles solares en las estaciones de carga y herramientas digitales que permitan la coordinación entre la red y el usuario (IRENA, 2019b). Por ejemplo, los cargadores anunciados por Volvo y

Evergo permiten a los usuarios programar las cargas a través de una aplicación, reservando espacios en esas estaciones. Tarifas dinámicas también ayudarían a no sobrecargar la red eléctrica en los momentos de mayor demanda (IRENA, 2019b). Las

necesidades específicas de cada ciudad dependerán de los patrones de consumo eléctrico, la disponibilidad de infraestructura de carga en los hogares y lugares de trabajo, así como las densidades demográficas.

## Mejoras en la eficiencia de los vehículos de combustión interna

A pesar del avance de los vehículos eléctricos, se espera que la demanda de combustibles fósiles para el transporte continúe aumentando hasta 2050 en buena parte de los países en desarrollo, impulsada en cierta medida por el crecimiento poblacional (AIE, 2023c). Debido a ese incremento de la demanda, la reducción de emisiones requerirá implementar y desarrollar tecnologías de mejora de la eficiencia de los vehículos de combustión interna. McKinsey & Company (2009) lista una serie de avances ya maduros de los motores a combustión interna, que podrían mejorar la eficiencia en el uso del combustible y resultar costo-efectivas. Por ejemplo, la utilización de motores pequeños por sí sola permitiría mejorar la eficiencia un 12 % y los sistemas de control de presión de los neumáticos otro 1 %. La AIE (2019a) muestra que el progreso en la eficiencia energética de autos y camionetas ha venido desacelerándose, con una mejora del 0,8 % anual entre 2017 y 2019, mientras que entre 2010 y 2015 esta mejora fue del 2,6 % anual.



**Se prevé que la demanda de combustibles fósiles para el transporte en países en desarrollo aumente hasta 2050. Mejorar la eficiencia de los vehículos de combustión interna será crucial en este escenario**

Una gran limitación a los esfuerzos de mejora en la eficiencia de los vehículos es la creciente demanda de unidades de mayor tamaño. El 17 % de los vehículos vendidos en 2010 en todo el mundo eran vehículos utilitarios deportivos (SUV, por sus siglas en inglés), mientras que este segmento representó el 46 % de las ventas en 2021. Estos vehículos son más grandes y ofrecen menos eficiencia energética que los compactos. El incremento en la demanda de los

SUV ha sido responsable del 40 % de la desaceleración en las mejoras de eficiencia antes mencionadas (AIE, 2019a).

Otra alternativa para la disminución de las emisiones en vehículos de combustión interna es el uso de biocombustibles, como bioetanol, biodiésel y biogás. El bioetanol es el de uso más difundido y puede ser producido a partir de diversas materias primas, como el maíz, el trigo y la caña de azúcar. La mayor limitación al uso de biocombustibles es la cantidad de tierra necesaria para los cultivos (Brassiolo et al., 2023). Si esta no es realizada de forma sustentable, el cambio en el uso de la tierra o el desplazamiento de la producción agropecuaria podrían no compensar las reducciones en emisiones provenientes del uso de biocombustibles (McKinsey & Company, 2009; OCDE, 2019). Entre los países de la región, Brasil destaca como líder en su uso para el transporte y, a su vez, es el segundo mayor productor de biocombustibles del mundo (AIE, 2023c). Entre 2010 y 2022 realizó inversiones de casi USD 35.000 millones, siendo superado únicamente por Estados Unidos (AIE, 2023u). Brasil incorpora los biocombustibles en su estrategia energética de largo plazo, contando actualmente con una resolución que permite la mezcla de hasta un 12 % de biodiésel con diésel, con el objetivo de aumentarla hasta el 15 % en 2026 (Ministério de Minas e Energia, 2023). Su estrategia prevé también una inclusión de hasta el 27 % de etanol en los combustibles, incentivos financieros y normas para los vehículos (AIE, 2023c). En Brasil, el principal insumo para la producción de biocombustibles es la caña de azúcar. Los biocombustibles producidos a partir de este insumo se sitúan en los rangos inferiores de intensidad de carbono entre los combustibles y generan menos emisiones por gigajulio (GJ) que el diésel y la gasolina (OCDE, 2019). Otros países de la región que incorporan objetivos de mezcla de biocombustibles con combustibles fósiles son Argentina, Colombia, Perú y Uruguay (AIE, 2023l).

Finalmente, se destacan los vehículos híbridos, que suponen una gran mejora en la eficiencia respecto a los de combustión interna. Los híbridos tienen una variante enchufable a energía eléctrica y una no enchufable. La primera cuenta con limitaciones similares a las de los vehículos eléctricos, principalmente su elevado costo. La segunda no tiene la restricción de la infraestructura

de carga, dado que la batería eléctrica se recarga cuando el auto está en funcionamiento y el uso energético principal es el combustible fósil. Estos últimos vehículos son los más comunes dentro de los híbridos, principalmente por su menor costo, y representan mejoras de eficiencia de entre el 23 % y el 49 % respecto a los fósiles (CER, 2021; U.S. Department of Energy, 2022a).

## Transporte de carga

El transporte de carga genera a nivel global cerca de la mitad de las emisiones del transporte terrestre a pesar de representar solo el 8 % de los vehículos (AIE, 2023r). Los avances para la descarbonización en este subsector son bastante más modestos que en los autos eléctricos, y la AIE considera que no está encaminado hacia el objetivo de cero emisiones (AIE, 2023q). A diferencia de los autos eléctricos, para los que la AIE estima viable lograr dicho objetivo si su participación en las ventas crece el 14 % en 2022 y el 67 % para 2030, se prevé que los combustibles fósiles para el transporte de mercancías en 2030 sigan representando más del 80 % de su consumo energético.

Más del 85 % de la carga transportada en América Latina y el Caribe viaja por carretera y existen algunos signos de importantes ineficiencias en el

subsector. En promedio, un camión en la región recorre cerca de 62.000 km al año, un 40 % menos que en Estados Unidos y la Unión Europea; a su vez, un 40 % de los viajes se realizan con los camiones vacíos, lo que contrasta con un 25 % en Norteamérica (Barbero et al., 2020; Calatayud y Montes, 2021). La red vial en la región presenta baja cobertura, calidad, capacidad y conectividad. Aproximadamente el 20 % de las carreteras principales están en mal estado, y gran parte de los países no tienen toda su red de carreteras de primer orden pavimentada. Esto podría duplicar el consumo de combustible y las emisiones en comparación con las carreteras en buenas condiciones (Cantillo, 2023). Este diagnóstico sugiere que mejorar la productividad del sector y la red vial permitiría transportar la misma carga con menos viajes, y así disminuir las emisiones.

### ¿Cómo descarbonizar el transporte de carga?

Las tres principales alternativas tecnológicas para descarbonizar el transporte de carga son su electrificación, el uso de combustibles alternativos, como el gas natural, el hidrógeno verde y los biocombustibles, así como la mayor utilización del ferrocarril.

Para evaluar la electrificación del transporte de carga, se debe separar entre carga pesada y liviana. El transporte de carga pesada representa el mayor desafío. Los camiones eléctricos están comenzando a utilizarse, pero, en términos de costos, los vehículos pesados muestran precios muy elevados y su oferta está muy restringida (Cantillo, 2023). A su vez, el peso

adicional que implican las baterías para camiones eléctricos pesados y medianos genera desafíos en cuanto al impacto en las rutas y a la gran cantidad de energía necesaria para la carga rápida de dichas baterías (Gross, 2020). Los cargadores rápidos pueden ejercer presiones sobre la red eléctrica, especialmente si se ubican en zonas aisladas con carencias de infraestructura y redes no diseñadas para esos niveles de demanda (Gross, 2020).

Los vehículos de carga livianos, principalmente utilizados para el denominado transporte de última milla, tienen un gran potencial de electrificación.

Esos camiones están liderando la descarbonización del transporte de carga, dado que, en general, viajan a distancias más cortas y con mayor frecuencia y, al ser más pequeños, carecen de las limitaciones de los vehículos pesados ya mencionadas (Gross, 2020). Como se verá más adelante, este transporte de última milla tiene especial relevancia en las ciudades.



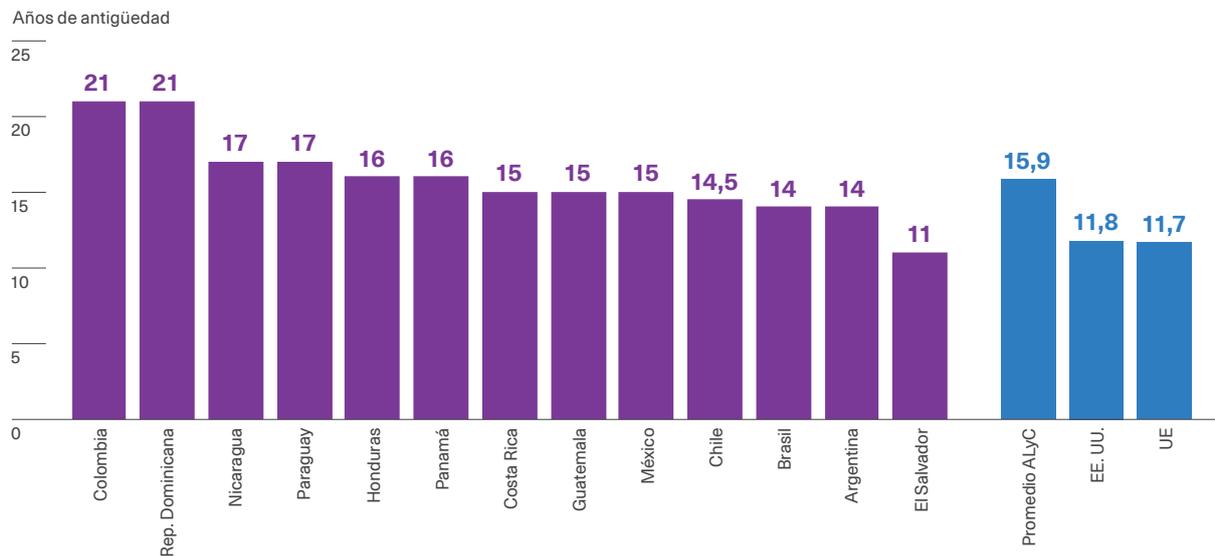
**Opciones clave para reducir las emisiones del transporte de carga incluyen la electrificación de vehículos ligeros, el uso de combustibles alternativos y potenciar el ferrocarril, cuando la escala justifique la inversión**

Una característica de la flota de transporte de cargas en América Latina y el Caribe, que es responsable de las mayores emisiones, es su elevada edad en comparación con la de los países desarrollados (Barbero

y Guerrero, 2017; Calatayud y Montes, 2021; Cantillo, 2023). El gráfico 8.5 compara la edad promedio de los camiones y muestra que la antigüedad de los camiones en un grupo de países de América Latina y el Caribe es cinco años superior a la de Estados Unidos y la Unión Europea (Cantillo, 2023). Además, la estructura de la propiedad del parque automotor se encuentra bastante atomizada, con una amplia mayoría de pequeños propietarios de camiones y pocas grandes empresas (Barbero y Guerrero, 2017; Cantillo, 2023). Si bien esto no difiere significativamente de lo que se observa en Estados Unidos (ATA, 2023), plantea un desafío para la modernización de la flota mientras que los precios de los camiones eléctricos se mantengan elevados. En general, estas pequeñas empresas tienen menos recursos, lo que extiende aún más la vida útil de los camiones, y márgenes inferiores para realizar mejoras que permitan reducir las emisiones o cambiar la flota a una eléctrica, en tanto que las empresas más grandes operan flotas más recientes e incorporan tecnología de la información a sus procesos (Barbero et al., 2020).

**Gráfico 8.5**

Edad media de los vehículos de carga en América Latina y el Caribe



**Nota:** El gráfico muestra la antigüedad media, medida en años, de la flota de transporte de carga para 13 países de ALYC, Estados Unidos y la UE entre los años 2012 y 2019.

**Fuente:** Cantillo (2023).

Si bien el gas natural no es un combustible libre de emisiones, tiene potencial como combustible de transición porque sus emisiones de GEI son menores que las del diésel y la gasolina y porque es un recurso abundante en América Latina y el Caribe. Los vehículos de carga a gas natural, principalmente los camiones a gas natural licuado, son buenas opciones para distancias largas y para flotas que obtienen el combustible de forma centralizada, dado que disponen de una infraestructura de suministro confiable (U.S. Department of Energy, 2022b). A pesar de la abundancia del recurso en la región y la extendida infraestructura en centros urbanos, los camiones interurbanos pueden sufrir problemas de abastecimiento por falta de infraestructura de suministro (Thiruvengadam et al., 2018). Los vehículos a gas natural permiten almacenar combustible en el propio camión, lo que extiende su rango, aunque a costa de tener más peso y menos capacidad de carga. Además de los camiones de carga mediana y pesada a gas natural existentes, los propulsados con diésel pueden ser adaptados para utilizar gas natural, bien como combustible principal o combustible adicional (U.S. Department of Energy, 2022b). Una consideración importante es que, para asegurar la reducción de emisiones de estos camiones, es necesario su correcto mantenimiento a fin de evitar las emisiones fugitivas de metano y del tubo de escape (Thiruvengadam et al., 2018). En los países productores de gas natural, como Argentina, Bolivia, México y Venezuela, se ha observado un aumento en el uso del gas natural para el transporte, y en Colombia se aprobó una ley en 2021 que promueve la masificación del uso de vehículos de carga a gas natural (Acevedo et al., 2023).

El hidrógeno verde, si bien es una solución con emisiones cero, mayor autonomía y recarga más rápida que los camiones eléctricos, aún no se utiliza, principalmente por la dificultad y el alto costo de su producción, almacenamiento y distribución (Cantillo, 2023). En el caso de los biocombustibles, aunque son una alternativa desde hace varios años, solo representan el 4 % del uso energético total de este subsector (AIE, 2022c). Esto se explica principalmente por la ya mencionada oferta limitada de estos combustibles y, en el caso del transporte de carga, se suma el inconveniente de tener que adaptar los camiones para que puedan utilizarlos (Cantillo, 2023).

Finalmente, el transporte de carga ferroviario es también una opción atractiva para disminuir las emisiones. El uso energético de los trenes supone en promedio solo un 15 % de la energía utilizada en el transporte de carga terrestre (Gross, 2020). Sin embargo, la infraestructura de trenes es costosa, por lo que la alternativa solo se vuelve económicamente viable cuando una ruta alcanza una escala de carga suficientemente elevada. Incluso en esos casos, el potencial de descarbonización es limitado en la medida que el camión interviene antes o después del transporte en tren, aportando flexibilidad y configurando un esquema multimodal (AIE, 2019d). En América Latina y el Caribe existen algunas redes ferroviarias de alta utilización en Argentina, Brasil y Colombia. Las inversiones más recientes en el modo ferroviario han estado efectivamente enfocadas en el transporte de mercancías y entre 2000 y 2016 la carga por kilómetro creció el 127 % (AIE, 2019d).

## Desafíos y oportunidades en logística urbana

La elevada tasa de urbanización de América Latina y el Caribe y el mayor ingreso per cápita de las grandes ciudades respecto a las áreas rurales implica que la enorme mayoría del consumo de bienes se realiza en espacios urbanos (Alves, 2021; Daude et al., 2017). Estos bienes deben ser transportados dentro de las ciudades hacia los puntos de venta o consumo final, lo que se conoce como logística urbana. La eficiencia de dicho proceso tiene implicancias para la productividad y el bienestar en las ciudades

(Alves y López, 2021). La logística urbana supone desafíos y oportunidades especiales en el contexto de la transición energética.

En cuanto a los desafíos, la mayor participación de los camiones en las emisiones de GEI y otros contaminantes en medios urbanos en comparación con su rol en el total de la flota vehicular, que se vio para el transporte general de mercaderías, también se verifica en las ciudades. En Bogotá, los vehículos de

carga generaban en 2020 el 43 % de las emisiones con solo el 5 % de la flota y, en Ciudad de México, el 71 % de las emisiones de  $MP_{2,5}$  (SPIM-Taryet, 2019). Esta mayor participación se debe a la conjunción de tres factores, que son además clave para entender las oportunidades y los desafíos de la transición energética en el sector.

El primer factor que explica esa relación de emisiones es que el transporte de mercancías supone mover más peso que el transporte de personas y eso requiere una potencia superior, lo que genera más emisiones. Si bien el peso de la mercancía transportada en áreas urbanas es menor que la transportada por carretera, el requisito de mayor potencia puede ser una barrera para la electrificación de los vehículos que transportan una mayor carga en las ciudades. En este sentido, las principales oportunidades de electrificación están en los vehículos pequeños y medianos.

Mientras que ese primer factor limita la electrificación, un segundo factor genera más optimismo. La mayor participación de los camiones en las

emisiones con relación a la flota se debe fundamentalmente a que el nivel de uso de estos vehículos es superior al de los vehículos particulares. Como se vio anteriormente, este mayor uso mejora la ecuación económica de la electrificación, por lo que, especialmente en los vehículos de logística urbana pequeños y medianos, aparecen importantes oportunidades para moverse en esa dirección.

El tercer factor que explica la mayor proporción de emisiones es específico a la región y tiene que ver con la mayor informalidad y antigüedad de la flota de logística urbana, que ya se vio para los camiones en general (SPIM-Taryet, 2019). Esto se asocia en parte a las bajas barreras de entrada que caracterizan al sector, donde actores con vehículos antiguos pueden transportar mercaderías sin contar con permisos especiales ni una gran inversión inicial. Esta situación coloca otro desafío para la electrificación, porque si bien en vehículos pequeños y medianos esta puede ser económicamente rentable, los proveedores de dichos servicios pueden no contar con acceso al crédito para cubrir los elevados costos de adquisición de los vehículos eléctricos.

## Movilidad de personas en las ciudades

La movilidad de las personas en las ciudades es un aspecto central de su bienestar. Los hogares de las grandes ciudades de América Latina y el Caribe destinan en promedio 1,5 horas diarias y el 17 % de su ingreso a los viajes urbanos (Gandelman et al., 2019). Esta relevancia de la movilidad urbana para el bienestar hace que las demandas de disminución de las emisiones deban considerarse en conjunción con las de un mejor acceso a las oportunidades de movilidad. No obstante, como se verá a continuación, las políticas públicas para una movilidad más equitativa no son contrarias a las que reducen emisiones, sino que ambas resultan altamente complementarias.

Los viajes de personas entre orígenes y destinos en una ciudad pueden realizarse con menor o mayor consumo de energía y emisiones según dos factores principales: el modo de transporte y la distancia. Además de la vía directa, por la cual dicho consumo se incrementa con la distancia recorrida, indirectamente, mayores distancias hacen menos viables los modos de desplazamiento sostenibles, como la caminata, la bicicleta y el transporte público masivo.



## Distribución modal, consumo de energía y emisiones

El cuadro 8.2 presenta el consumo energético por pasajero y por kilómetro y el tipo de combustible predominante para siete modalidades de transporte. Estas dos dimensiones definen la esencia de los desafíos de la movilidad urbana en la transición energética. El consumo energético promedio varía enormemente según el medio de transporte, con el automóvil superando ampliamente al resto, y la caminata, la bicicleta y el tren presentando los consumos mínimos. Transportar un pasajero durante un kilómetro en un automóvil consume al menos 2 veces más energía que un bus, 15 veces más que una bicicleta, 8 veces más que un bus de tránsito rápido (BRT, por sus siglas en inglés), al menos 4 veces más que un tren o el metro y al menos 2,5 veces más que un tranvía. En cuanto al combustible predominante, en los automóviles, los buses y el BRT es de origen fósil, mientras que el tranvía, el tren y el metro suelen

funcionar con electricidad. Las modalidades activas están propulsadas por las personas. La combinación de estas diferencias de cantidad de energía y tipo de combustible generan emisiones muy dispares. Por ejemplo, las emisiones por kilómetro por pasajero de un automóvil que funciona con gasolina son cinco veces más altas que las de un bus que funciona a gasoil y cien veces más que las de un bus eléctrico (MOVÉS, 2021).

● ●  
**Las emisiones urbanas por pasajero difieren enormemente según el medio de transporte. Reducirlas requiere más participación de la caminata, la bicicleta y el transporte público y menos de los automóviles**

**Cuadro 8.2**

Eficiencia y consumo energético de distintos medios de transporte urbano

	 Automóvil	 Bus	 Bicicleta	 BRT	 Caminata	 Tranvía	 Tren/metro
Pasajeros por hora	 2.000	 9.000	 14.000	 17.000	 19.000	 22.000	 80.000
MJ/pasajero-km	1,65-2,45	0,32-0,91	0,1	0,24	0,2	0,53-0,65	0,15-0,35
Combustible predominante	Fósil	Fósil	Comida	Fósil	Comida	Electricidad	Electricidad
USD/pasajero-km infraestructura	2.500-5.000	200-500	50-150	500-600	50-150	2.500-7.000	15.000-60.000

**Nota:** El cuadro muestra, para distintos modos de transporte, el número de pasajeros que pueden viajar de manera cómoda y segura, tomando como referencia ciudades europeas y asiáticas, la intensidad energética por pasajero-kilómetro (medida en megajulios), los costos de infraestructura por pasajero-kilómetro (en dólares) y el tipo de combustible predominante para su operación. En el caso de la intensidad energética de buses, el valor inferior corresponde a Austria, mientras que el superior se da en México. Originalmente en euros, el costo de infraestructura se expresó en dólares mediante el tipo de cambio vigente en el año al que refieren los datos (2010).

**Fuente:** Figueroa et al. (2014).

Las diferencias de intensidad energética y combustible utilizado implican, por tanto, que la disminución de las emisiones del transporte urbano requiere reducir el uso del automóvil individual e incrementar las modalidades activas (caminata y bicicleta) y el transporte público. Un aspecto que no está contemplado en el cuadro 8.2 y que matiza esa conclusión es la posibilidad creciente de electrificación que suponen los avances tecnológicos para las modalidades que funcionan con combustibles fósiles. Si bien dicha posibilidad ciertamente disminuye las emisiones de las modalidades fósiles, en particular del automóvil individual, tres razones refuerzan la idea de que las políticas busquen reducir la participación modal de este vehículo. En primer lugar, como se ha visto en este capítulo, la electrificación de los automóviles resulta muy costosa para los ingresos de la mayoría de los hogares de la región. En segundo lugar, como se vio en el resto de este reporte, el potencial de reducción de las emisiones de la electrificación depende de que la matriz de generación eléctrica de los países sea mayoritariamente limpia. En tercer lugar, algunas externalidades negativas del uso de los automóviles no solo no se solucionan, sino que incluso empeoran con la electrificación, como muestra el recuadro 8.3.

Otra ventaja de las modalidades activas, indicada en el cuadro 8.2, es su menor costo en cuanto a provisión de infraestructura. El automóvil individual necesita una infraestructura que, además de tener un mayor costo económico, genera emisiones asociadas a su construcción, no recogidas en el consumo de energía reportado en el cuadro (Brassiolo et al., 2023). Una ventaja adicional de las modalidades activas y del transporte público frente al automóvil individual es que ocupan menos espacio en las ciudades. El mayor uso de espacio que implican las vías para autos está asociado a una menor superficie de espacios verdes en las ciudades (Conwell et al., 2023), lo que supone un costo de bienestar, así como ambiental.

Dada la importancia de la distribución modal en las emisiones del transporte urbano de pasajeros, cabe preguntarse cómo es dicha distribución en las ciudades de la región. El cuadro 8.3 presenta información del Observatorio de Movilidad Urbana (OMU), una iniciativa del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y CAF —banco de desarrollo de América Latina y el Caribe—, con la proporción de viajes

según el modo de transporte en la última encuesta origen-destino disponible en diez ciudades de la región. En él se observa que la mayoría de las ciudades tiene una incidencia del transporte privado individual que se ubica entre un quinto y un tercio del total de viajes, valores que son frecuentes en ciudades europeas y del este asiático (Land Transport Authority, 2011). Esto implica que las modalidades sustentables tienen un amplio dominio en el transporte urbano de personas en la región, algo clave para entender las menores emisiones en comparación con otras regiones. Las dos ciudades de la región que escapan a ese dominio de las modalidades sustentables son Curitiba y Panamá, donde casi la mitad de los viajes se realizan en vehículos motorizados individuales. Retomando la comparación internacional, los valores de estas dos ciudades están todavía muy lejos de los predominantes en las ciudades de Estados Unidos, donde es común que más de tres cuartos de los viajes se realicen en automóvil (Land Transport Authority, 2011).



### **El número total de viajes realizados en transporte público y con modalidades activas duplica los efectuados en automóvil en las principales ciudades de la región**

Dentro de las modalidades activas, los desplazamientos a pie superan ampliamente en número a los realizados en bicicleta. Bogotá destaca por ser la ciudad con mayor proporción de viajes en bicicleta, seguida de Santiago de Chile y Buenos Aires. Esta mayor incidencia de la modalidad ciclista coincide con la expansión de la infraestructura dedicada a estos vehículos en estas tres ciudades. En Buenos Aires, la red de ciclovías pasó de 30 a 300 km de extensión entre 2009 y 2023 y la proporción de viajes aumentó del 0,4 % al 7 % del total (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2023). El uso de bicicletas tiene aún margen para crecer en la región y así contribuir a un transporte con menores emisiones. Datos de las encuestas de hogares para nueve países, procesados por Puig y Tornarolli (2023), indican que solo uno de cada cinco hogares posee al menos una bicicleta.

### Recuadro 8.3

#### ¿Desaparecen los costos sociales del uso del automóvil privado con su electrificación?

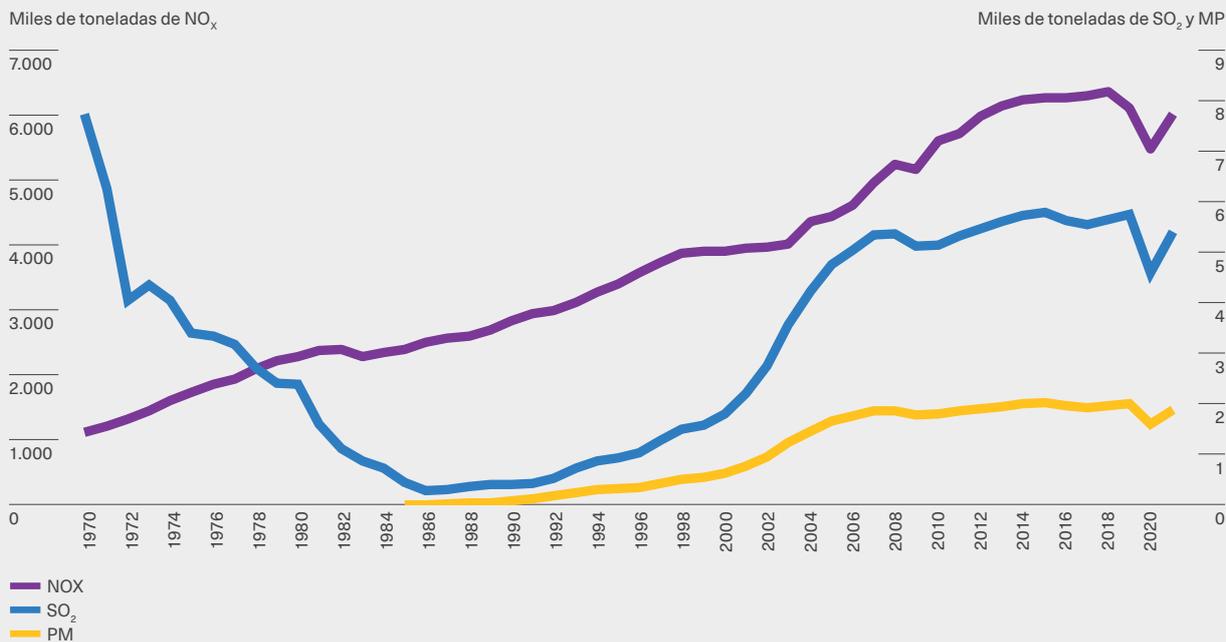
El uso del automóvil tiene una serie de costos sociales. En el caso de los vehículos a combustión, dichos costos incluyen las emisiones de GEI y otros contaminantes del aire, así como la contaminación sonora. Estos costos desaparecen con la electrificación de los vehículos.

Los contaminantes del aire, emitidos por los vehículos a combustión interna y que tienen efectos negativos en la salud, incluyen principalmente los óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ), el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el material particulado (MP). Tanto el  $\text{NO}_x$  como el  $\text{SO}_2$ , además, reaccionan con otros compuestos en la atmósfera, formando MP. Estos materiales particulados son los que han mostrado mayores impactos negativos en la salud y la mortalidad (Di et al., 2017; Green y Sánchez, 2013; Krewski et al., 2009; Lepeule et al., 2012). El gráfico muestra cómo en los últimos 35 años estos contaminantes han crecido significativamente en la región, acompañando el aumento del número de vehículos.

Otros costos sociales de los automóviles individuales no solo se mantienen, sino que incluso empeoran con la electrificación de los vehículos. Por un lado, el incremento de los tiempos de traslado, a medida que aumenta el número de vehículos en circulación, es el mismo independientemente del funcionamiento del motor. Por otro lado, el mayor peso de los vehículos eléctricos, asociado a sus grandes baterías, hace que aumenten los accidentes y la emisión de material particulado por el desgaste de los neumáticos. Asimismo, los costos de congestión y los asociados al mayor peso de los vehículos eléctricos pueden aumentar si los menores gastos que implica su funcionamiento propician un uso mayor.

#### Gráfico 1

Emisiones de sustancias contaminantes del sector del transporte de América Latina y el Caribe



**Nota:** El gráfico muestra la evolución de las emisiones del transporte en ALyC, medidas en miles de toneladas, de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ , eje izquierdo), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y materia particulada (MP), estas últimas representadas en el eje derecho. El periodo considerado es 1970-2021. La agregación se obtuvo a partir de datos individuales de 27 países de la región.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de OLADE (2021b).

### Cuadro 8.3

Reparto modal en 10 grandes ciudades

	Bogotá	Buenos Aires	Ciudad de México	Curitiba	Montevideo	Panamá	Río de Janeiro	Salvador de Bahía	San Pablo	Santiago de Chile
<b>Público</b>	<b>34,2</b>	<b>37,8</b>	<b>45,5</b>	<b>25,2</b>	<b>28,4</b>	<b>38,1</b>	<b>47,3</b>	<b>34,9</b>	<b>30,9</b>	<b>19,8</b>
Metro/tren	0,0	11,2	11,9	0,0	0,0	1,0	6,2	0,0	11,1	5,9
Bus/BRT	34,2	26,6	33,6	25,2	28,4	37,1	41,1	34,9	19,8	13,9
<b>Activo</b>	<b>32,1</b>	<b>28,5</b>	<b>30,3</b>	<b>25,4</b>	<b>36,5</b>	<b>8,3</b>	<b>28,3</b>	<b>36,2</b>	<b>32,7</b>	<b>41,2</b>
Caminata	24,7	24,5	28,5	23,3	34,7	8,1	27,2	35,3	31,8	36,9
Bicicleta	7,4	3,9	1,8	2,1	1,8	0,2	1,0	0,9	0,9	4,3
<b>Motorizado individual</b>	<b>24,5</b>	<b>31,5</b>	<b>23,1</b>	<b>49,0</b>	<b>35,1</b>	<b>45,4</b>	<b>23,4</b>	<b>22,4</b>	<b>30,6</b>	<b>33,0</b>
Auto	14,3	26,8	16,9	45,8	31,7	35,2	22,7	19,1	27,0	27,5
Taxi	4,5	1,6	5,3	0,5	1,0	9,3	0,0	1,4	1,1	4,9
Moto	5,7	3,1	1,0	2,7	2,5	0,9	0,7	1,9	2,5	0,6
<b>Otros</b>	<b>9,1</b>	<b>2,3</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,0</b>	<b>8,3</b>	<b>1,0</b>	<b>6,3</b>	<b>5,8</b>	<b>6,0</b>
Año	2019	2018	2017	2017	2016	2014	2011	2012	2017	2012

**Nota:** El cuadro muestra la distribución porcentual de viajes diarios según el modo principal de transporte en 9 ciudades de 7 países de ALyC, para el periodo 2011-2019 (varía según la ciudad específica). Los datos fueron obtenidos a partir del procesamiento de encuestas de movilidad. La categoría "taxi" no es reportada para Río de Janeiro.

**Fuente:** Elaboración propia con base en datos de OMU (2023).

Los buses tienen un rol predominante en el transporte público en la región. Esto es especialmente relevante en las ciudades más pequeñas, como Curitiba, Montevideo y Salvador de Bahía, que son las que no tienen metro, y en Bogotá, que aún no cuenta con tren urbano, pero tiene planes para construir su primera línea. Incluso en las ciudades con metro, el número de viajes en esta modalidad es sustancialmente menor que los realizados en bus. El recuadro 8.4 muestra que los buses tienen un potencial importante de electrificación y que varias ciudades de la región han realizado avances en ese sentido.

Entre las modalidades de transporte privado motorizado, el automóvil predomina ampliamente sobre la moto y el taxi. La moto tiene una relevancia importante en Bogotá, con alrededor del 6 % de los viajes, y el taxi supera el 5 % en Ciudad de México y Panamá. El taxi es una modalidad con potencial mayor de electrificación debido a que su uso intensivo amortiza más rápidamente el capital. La Intendencia de Montevideo ha avanzado en la reconversión de taxis con motor a combustión a eléctricos, alcanzando las 200 unidades en 2024, lo que representa alrededor del 7 % de la flota (Intendencia Montevideo, 2023).



**Los buses tienen un rol predominante en la movilidad urbana en la región. Su electrificación resulta económicamente viable, pero requiere financiamiento y subsidios debido a su alto costo**

Los datos de gasto en transporte público y privado por quintil de ingresos presentados para doce países por Gandelman et al. (2019) sugieren una distribución modal muy dispar entre hogares de mayores y menores ingresos. Mientras que en el quintil más pobre el gasto en transporte público supera al privado en más de 3 veces, en el quintil más rico el gasto en transporte privado supera al gasto en transporte público en más de 7 veces. Estos patrones de gasto implican que las mejoras en la calidad y disponibilidad del transporte público benefician en mayor medida a los hogares con menos ingresos, demostrando el carácter inclusivo de las estrategias de promoción de la movilidad sostenible.

## Recuadro 8.4

### Electrificación de los buses urbanos

Los buses urbanos de transporte de pasajeros poseen tres características que los hacen particularmente atractivos para la electrificación (Correa et al., 2019; Feng y Figliozzi, 2013; Hellgren, 2007). Primero, mientras los automóviles suelen estar estacionados la mayoría del tiempo, los buses tienen una utilización mucho mayor, lo que aumenta el ahorro de combustible que trae la electrificación, y mejoran la ecuación económica detrás de su adopción. Segundo, a diferencia de los autobuses interurbanos, los buses urbanos recorren distancias relativamente acotadas, que pueden realizarse con una sola carga de batería. Una tercera es que su mecánica es más sencilla que la de los buses con combustible de diésel, lo que disminuye sus costos de mantenimiento.

Estas ventajas han llevado a una rápida adopción de los buses eléctricos en reemplazo de los alimentados por combustibles fósiles en los últimos años. Según datos de la plataforma digital ebusradar.org, a fines de 2023 ya existían más de 5.000 buses eléctricos en la región, lo que supone un crecimiento del stock de más de siete veces respecto a 2017. Alrededor de cuatro quintos de estos buses funcionan con batería y el resto son trolebuses, es decir, buses que se alimentan mediante cables de electricidad que están dispuestos a lo largo de su recorrido. Ese crecimiento ha estado concentrado en muy pocas ciudades. El 40 % de la flota de buses de Santiago de Chile es de vehículos eléctricos, mientras que en Bogotá alcanza el 30 % y en Ciudad de México, el 10 %. Santiago y Bogotá tienen las flotas de buses eléctricos más grande del mundo fuera de China (Ramos, 2023).

Más allá de sus ventajas, la electrificación de buses enfrenta algunos desafíos. Por un lado, si bien su mayor intensidad de uso los hace rentables debido al ahorro de gastos en combustible, su costo de adquisición es mayor que el de los buses convencionales, lo que supone un desafío de financiamiento. Una solución innovadora para afrontar este reto financiero en la región ha sido separar la propiedad de los buses eléctricos de su operación (Becerra y Galarza, 2022). Aunque esta alternativa soluciona el problema del financiamiento, cubrir dicho costo requiere de subsidios para que no impacte negativamente en la tarifa (Ramos, 2023). Por otro lado, la carga de las baterías eléctricas plantea dos obstáculos adicionales. Uno es que se necesita espacio e infraestructura nueva para cargar los buses. El otro es que los vehículos deben permanecer estacionados mientras se cargan sus baterías, lo que supone una menor utilización y un mayor número de unidades necesarias para cubrir una determinada ruta con la misma frecuencia. Por último, los beneficios ambientales de la electrificación de los buses dependen de cuán limpia sea la matriz eléctrica, por lo que la temporalidad de su adopción debe adaptarse a las trayectorias de generación eléctrica de cada país (Ramos, 2023).

Si bien los datos de distribución modal muestran un predominio de las formas sustentables en la región, en términos prospectivos existe un fuerte desafío para contener el avance del automóvil con sus emisiones y otras externalidades negativas asociadas.

Este avance está ligado al incremento de los ingresos de los hogares. Un 10 % de aumento en la renta genera un crecimiento en la posesión de automóviles del 4 % en un año y del 10 % a los cinco años (Goodwin et al., 2004).

## Forma urbana y transporte en la ciudad

La forma de una ciudad impacta en el consumo de energía y las emisiones del transporte por dos mecanismos: las distancias recorridas y los modos de transporte elegidos (Stocker et al., 2013). La clave detrás de ambos mecanismos radica en que la forma urbana determina la distancia entre los orígenes de los desplazamientos, típicamente las residencias, y los destinos, como el trabajo, los centros educativos y el comercio minorista. El primer mecanismo se refiere a que una mayor distancia entre orígenes y destinos principales supondrá trayectos más largos, lo que generará más consumo de energía y emisiones (Glaeser y Kahn, 2010). El segundo mecanismo se refiere a que esas mayores distancias vuelven menos viable el uso de modalidades de transporte sostenibles (Ahlfeldt y Pietrostefani, 2019). En distancias cortas es posible caminar y en distancias medias, utilizar la bicicleta, pero estas modalidades pierden atractivo cuando los recorridos son largos. Asimismo, si los orígenes y destinos de los viajes están muy dispersos, puede inviabilizar el funcionamiento del transporte público masivo.



### Las ciudades densas y menos extendidas reducen las emisiones al favorecer el transporte público y promover los desplazamientos a pie y en bicicleta para distancias más cortas

La relevancia de la forma urbana para el uso de energía en el transporte urbano puede ilustrarse comparando el promedio de consumo energético y la forma urbana en las ciudades de Estados Unidos, Europa y Japón. Si bien se trata de países con ingreso per cápita relativamente similar, el consumo de energía en el transporte urbano y las formas de sus ciudades son muy diferentes. El uso de energía per cápita en el transporte urbano de ciudades estadounidenses es tres veces superior al de Europa y Japón (Figueroa et al., 2014) y la densidad mediana de las ciudades europeas es 15 % mayor a las de Estados Unidos.

La densidad y la accesibilidad son dos métricas clave para caracterizar la forma urbana. Mayores valores de estas métricas suponen menores distancias entre orígenes y destinos y, por tanto, menos consumo de energía y emisiones debido a los dos mecanismos antes señalados. La densidad se refiere a la relación entre el número de habitantes de una ciudad y su extensión geográfica. El Reporte Economía y Desarrollo (RED) de 2017 de CAF realizó un primer estudio de la extensión y densidad de las ciudades de América Latina y el Caribe en comparación con otras regiones (Daude et al., 2017), desarrollado luego por otros autores (Ch et al., 2021). Allí se mostró que las ciudades de la región tienen niveles de densidad promedio levemente superiores a los de las ciudades europeas y similares a las de Oriente Medio y Norte de África. Esos niveles están, a su vez, muy por encima de los de las ciudades de Canadá y Estados Unidos y por debajo de los niveles máximos de densidad que se observan en el sur y este de Asia. Un análisis de correlación para 27 ciudades latinoamericanas muestra que, comparando ciudades de igual tamaño, un incremento del 10 % en la densidad supone un tiempo de traslado un 1,7 % inferior en transporte público y el 1,2 % en transporte privado<sup>5</sup>.

Históricamente, se ha observado una relación negativa entre ingreso per cápita del país y la densidad de sus ciudades. A medida que aumenta el ingreso, las ciudades suelen crecer más en extensión que en población (Moreno-Monroy et al., 2021). Esto se explica por el aumento del número de hogares en relación con la población y porque los hogares demandan viviendas más grandes, a la vez que pueden pagar mayores costos de desplazamiento. Esa relación entre el ingreso per cápita y la densidad supone un desafío para la región de cara al futuro debido a que el incremento en los niveles de ingreso per cápita en las próximas décadas presionaría a una mayor expansión territorial de las ciudades y del uso del automóvil. De este modo, si bien en otras regiones del mundo en desarrollo la mayor presión al alza sobre las emisiones del transporte urbano se debe a la urbanización, en América Latina y el Caribe, región ya bastante urbanizada para sus niveles de ingreso per cápita, podría darse por una mayor expansión del área urbana.

<sup>5</sup> Datos obtenidos mediante una regresión que utiliza el tiempo de traslado promedio al centro de la ciudad en auto y bus, según el OMU, y la densidad calculada con la base FUAS (Moreno-Monroy et al., 2021). La regresión controla por la población del área metropolitana, también tomada de la base FUAS.



La accesibilidad se refiere al número y calidad de los destinos que se pueden alcanzar en una ciudad en un tiempo determinado, considerando la equidad en dicho acceso entre las personas que la habitan (Daude et al., 2017; Hernández y Hansz, 2021; Vanoli y Anapolsky,

2023). Conwell et al. (2023) muestran fuertes diferencias de accesibilidad al centro de las ciudades en automóvil con relación al transporte público entre Europa y Estados Unidos, lo que está asociado a los patrones opuestos de reparto modal antes mencionados.

## El rol de los precios de transporte público

Los precios de los distintos modos de transporte son determinantes en la elección que hacen los individuos e influyen en la distribución modal en las ciudades. Un resumen de la evidencia (predominantemente para países desarrollados) indica que un 10 % de incremento en el precio de la gasolina genera una disminución en el tráfico vehicular y en el número de vehículos de alrededor del 1 % en el plazo de un año y del 2,5 % del tráfico y el 3 % del número de vehículos en un plazo de 5 años (Goodwin et al., 2004). De las respuestas al precio del transporte público se infiere que, si este aumenta un 10 %, la demanda disminuye entre el 2 % y el 4 % (Davis, 2021; Holmgren, 2007). La evidencia no es concluyente en cuanto a la relación entre el uso del transporte público y cambios en los ingresos de los hogares. En cambio, sí es indiscutible que aumentos en el precio de la gasolina incrementan el uso del transporte público, aunque la magnitud de esta relación es muy heterogénea en los estudios disponibles. Esta causalidad positiva entre los precios de la gasolina y el uso del transporte público es consistente con que las personas estén sustituyendo el automóvil privado por el transporte público.



### En varios países de la región existe espacio para promover la transición energética en el transporte mediante mayores impuestos a la gasolina y subsidios al transporte público

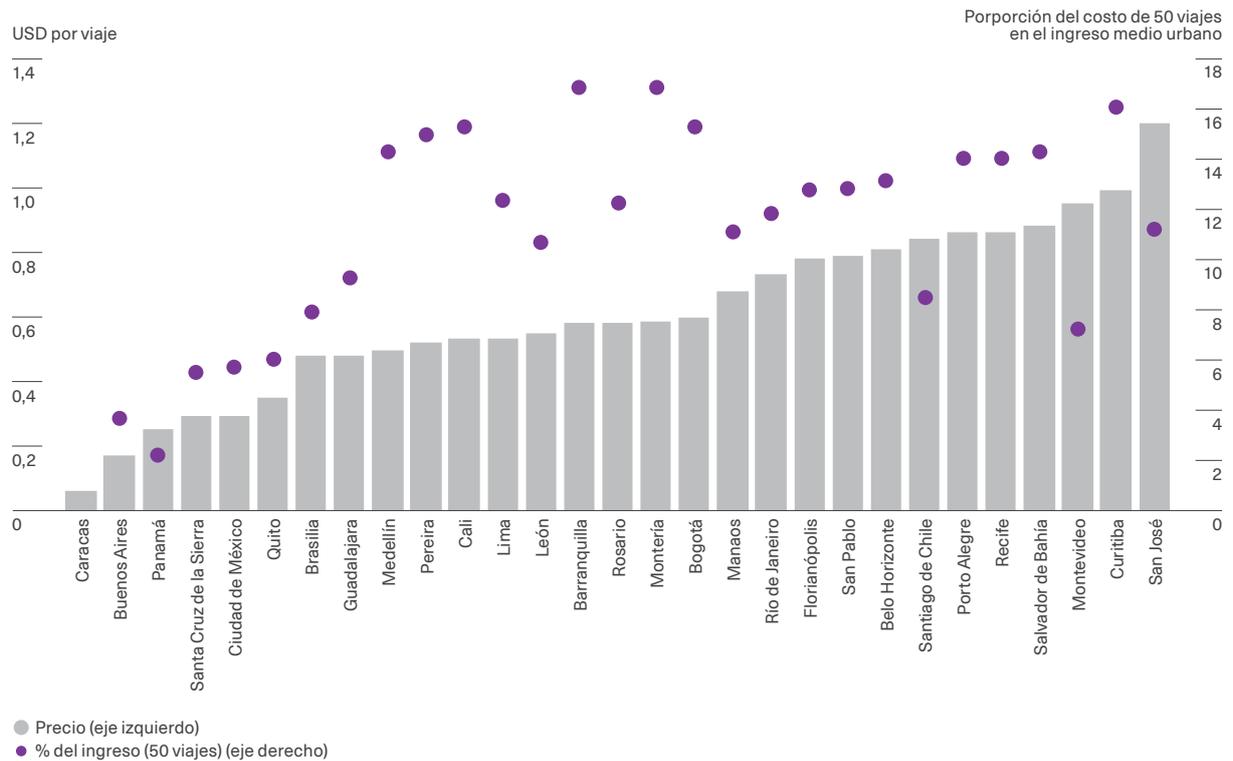
El gráfico 8.6 presenta los precios de viajes en autobús recopilados por el OMU para 29 grandes ciudades de la región. Los precios se expresan en dólares estadounidense corrientes y como proporción del ingreso per cápita promedio de los hogares del país al que pertenece la ciudad. Esto último permite contar con una medida de asequibilidad de dicho

modo de transporte y sugiere dos grandes grupos de ciudades. Por un lado, están aquellas con transporte público relativamente más asequible, en las que el costo de 50 viajes supone menos del 10 % del ingreso per cápita del hogar. En un segundo grupo de ciudades, más numeroso, el costo de dichos viajes supera el 10 % del ingreso del hogar, con valores que se ubican predominantemente entre el 13 % y el 15 %. En este segundo grupo se encuentran todas las ciudades colombianas y brasileñas, excepto la capital. Lo elevado del gasto en este segundo grupo hace que América Latina y el Caribe sea la región con mayor proporción del gasto de hogares urbanos destinado al transporte (Gandelman et al., 2019), lo que compromete el bienestar de las personas con menos ingresos y supone una traba para incrementar el rol del transporte urbano sostenible.

El análisis conjunto de los datos de asequibilidad del gráfico 8.6 con la información sobre subsidios recopilada por el OMU para los años 2021 y 2022 muestra que los sistemas de buses del primer grupo de ciudades reciben subsidios importantes y que estos son mucho menores en las ciudades del segundo grupo. Las ciudades del primer grupo, con un mayor rol de los subsidios, son Buenos Aires, donde el monto para estas ayudas superó en más de dos veces la recaudación, y Ciudad de México, donde representaron un 120 % de los ingresos por venta de pasajes. En ese primer grupo de ciudades con transporte público más asequible, los sistemas de transporte público de Panamá y Santiago de Chile tuvieron una unidad de subsidio por cada unidad de recaudación. En el segundo grupo, la asociación entre bajos subsidios y menos asequibilidad puede ilustrarse con Río de Janeiro, donde el subsidio es nulo, Porto Alegre, donde representa solo el 14 % de la recaudación, y Medellín y Barranquilla, donde suponen menos del 5 % del recaudo.

### Gráfico 8.6

Precios de un viaje en bus del transporte público y costo de 50 viajes respecto al ingreso per cápita mensual de los hogares en 2022



**Nota:** El gráfico muestra el precio promedio (en dólares) de un viaje en bus y el peso de un paquete de 50 viajes sobre el ingreso per cápita familiar promedio en hogares urbanos (en porcentaje) para 29 ciudades en 12 países de ALyC, en el año 2022. Los ingresos corresponden al promedio del país y no de la ciudad. La categoría bus se obtuvo promediando datos referidos a autobús urbano, BRT, microbús y combis.

**Fuente:** Elaboración propia con base en OMU (2023) y CEDLAS y Banco Mundial (2022).

Por supuesto, las diferencias de asequibilidad entre ciudades no se explican solamente por los subsidios. También existen diferencias de eficiencia —asociadas a una variedad de parámetros técnicos de los sistemas de transporte, como la capacidad de los vehículos, los costos de los combustibles y los niveles de remuneración—, de forma urbana —su densidad y extensión— y de ingreso per cápita de los países.

La consideración conjunta de los precios de la gasolina y el transporte público indica que en la mayoría de las ciudades y países existe un importante margen para modificar los precios a fin de incentivar el uso del transporte público por encima del privado y alcanzar mejores resultados sociales y ambientales. El apartado siguiente, dedicado a las lecciones de las políticas en el sector del transporte en la transición energética, profundiza en herramientas más concretas para avanzar en esa corrección de los precios.

# Políticas de transporte sostenible en la transición energética

El cuadro 8.4 resume los principales objetivos y herramientas de política con relación a los dos principales desafíos que plantea el capítulo: 1) disminuir

las emisiones de la movilidad urbana de personas y mejorar la equidad en dicho ámbito, y 2) reducir las crecientes emisiones del transporte de carga.

## Cuadro 8.4

Desafíos y políticas en la transición energética en el sector del transporte

Desafíos	Objetivo	Políticas
Emisiones al alza y brechas de equidad en el transporte de personas en ciudades	Mayor participación modal del transporte público	Infraestructura de transporte público Subsidios al transporte público con componente de demanda focalizado
	Mayor participación modal de los desplazamientos a pie	Infraestructura segura para peatones y ciclistas
	Menor participación modal del automóvil individual	Impuestos a la congestión, el estacionamiento, la propiedad de vehículos y la gasolina
	Electrificación de vehículos	Facilitar el desarrollo de redes de carga mediante subsidios y regulaciones Subsidios al recambio de la flota de buses y taxis
Emisiones del transporte de carga en alza	Disminuir las emisiones del transporte de carga pesada	Impuestos a los combustibles fósiles Impuestos a la propiedad crecientes según la edad del vehículo Desarrollo de infraestructura ferroviaria cuando sea costo-efectiva
		Disminuir las emisiones del transporte de carga liviana

En materia de movilidad urbana las políticas deben promover la movilidad sostenible. Esta agenda no solo es la clave para disminuir las emisiones de GEI, sino también para mejorar los niveles y la equidad del bienestar en las ciudades de América Latina y el Caribe. A dicha agenda se agregan algunos elementos de promoción de la electrificación de vehículos, pero enfocándola en las flotas de buses y taxis y evitando subsidios a la adquisición de automóviles particulares.

El primer objetivo para la transición energética en la movilidad urbana consiste en fortalecer los sistemas de transporte público. Las características de dichos sistemas deben adaptarse al tamaño de las ciudades. En las más grandes, es clave el rol del transporte masivo, lo que supone invertir en infraestructura para trenes, ya sean subterráneos o por encima de la superficie. Como muestra el cuadro 8.1, dicha infraestructura es costosa, por lo que su desarrollo resulta menos atractivo en ciudades medianas. En estos casos, los

BRT ofrecen una alternativa de transporte masivo con menos inversiones asociadas y son la modalidad en la que la región ha sido pionera en el mundo, con más de 60 ciudades dotadas con este sistema (BRT Data, 2023). Como se vio en el cuadro 8.2, los buses tienen una participación modal muy importante en la región y el recuadro 8.4 mostró que tienen un gran potencial de electrificación, aunque sujeto a algunos desafíos importantes. Esto incluye a los vehículos que operan en la modalidad BRT.



### **La clave de la transición energética en la movilidad urbana no es la electrificación de los automóviles, sino un mayor rol de la caminata, la bicicleta y el transporte público**

Además de las inversiones en infraestructura de vías y vehículos, los sistemas de transporte público fuertes requieren de una adecuada regulación, estándares mínimos de calidad, la integración entre sus modalidades y subsidios para su funcionamiento. Estos subsidios suelen ser sustantivos y están justificados por tres razones principales (Adler y van Ommeren, 2016; Anderson, 2014; Basso y Silva, 2014; Parry y Small, 2009). Primero, sin subsidios se tendría un sistema demasiado pequeño, porque sus costos por pasajero disminuyen con la cantidad de personas transportadas y el valor para el pasajero aumenta con el tamaño de la red. Segundo, los subsidios permiten disminuir el precio del transporte y esto desincentiva el uso del automóvil individual. Tercero, el transporte público es utilizado en mayor medida por hogares de menores ingresos, por lo cual los subsidios contribuyen a una mayor equidad, en especial cuando están focalizados en los hogares que más lo necesitan, aprovechando las tecnologías de pago con tarjetas y teléfonos inteligentes (Gandelman et al., 2019; Serebrisky et al., 2009). Como se comentó en el recuadro 8.4, la electrificación de los buses urbanos es un área en la que los subsidios son necesarios para que los sistemas de transporte urbanos no tengan que encarecer sus tarifas para financiarla.

El segundo objetivo de las políticas de movilidad urbana es promover las modalidades de transporte activo. La clave para esto está en la provisión de infraestructura que proteja a peatones y ciclistas frente a los automóviles. Las redes de vías seguras para bicicletas y otras formas de micromovilidad deben tener tres atributos para ser exitosas: ser extensas y cubrir toda la ciudad, conectar entre sí las distintas zonas de la ciudad y tener una separación física de las que utilizan automóviles y peatones para proteger a los usuarios de aceras y ciclovías (Reich, 2022). Además de la infraestructura segura, la seguridad frente al crimen y al acoso, en el caso de las mujeres, adquieren un rol clave en la promoción de las movilidades activas en la región (Allen et al., 2019).

El tercer objetivo consiste en desincentivar el uso del automóvil individual. Existe una gran variedad de herramientas para promover dicho objetivo. Pueden consistir en impuestos o, directamente, prohibiciones, aplicar esas medidas a determinadas áreas y a ciertos automóviles y enfocarse en su posesión, circulación o estacionamiento. Varias ciudades han contado o cuentan con prohibiciones de circulación ciertos días de la semana según la matrícula del vehículo, incluyendo Santiago de Chile (introducido en 1986), Ciudad de México (1989), San Pablo (1996), Bogotá (1998), Medellín (2005), San José de Costa Rica (2005) y Quito (2010) (Barahona et al., 2020). Estas restricciones no fueron efectivas porque causaron que los hogares compraran más autos (Gallego et al., 2013). En cambio, una variante que ha mostrado mayor efectividad es restringir la circulación solo a los vehículos más contaminantes, por ejemplo, los de mayor antigüedad (Barahona et al., 2020). Otra variante que también ha resultado efectiva consiste en limitar el uso del automóvil en ciertas zonas y horarios. Por ejemplo, Bogotá introdujo en 2020 el “pico y placa solidario”, que permite evitar la restricción a circular en horas pico en áreas centrales a cambio de la compra de un permiso o si el vehículo transporta al menos tres personas<sup>6</sup>. Montero et al. (2022) muestran que esto resultó en una importante mejora del bienestar en la ciudad.

6 Las políticas de restricciones al uso en ciertas vías dependiendo del número de ocupantes han demostrado ser efectivas para disminuir la congestión en el caso de Yakarta (Hanna et al., 2017).

Los impuestos a la gasolina, a la tenencia de autos y al estacionamiento también contribuyen a contener la congestión y disminuir las emisiones. Como se vio anteriormente, en la mayoría de los países de la región existe un amplio margen para aumentar los precios de la gasolina de forma que reflejen los costos sociales del uso del automóvil. En cuanto a los impuestos a la tenencia de vehículos, idealmente estos deben ser mayores para aquellos que generan mayores emisiones. El precio del estacionamiento debe como mínimo reflejar que el espacio urbano dedicado a aparcamiento tiene usos sociales alternativos muy valiosos. La evidencia indica que los precios del estacionamiento con parquímetro en las ciudades de la región son demasiado bajos, muchas veces menores que un viaje en transporte público, por lo que existe margen para un mayor aprovechamiento de esta herramienta (Rivas et al., 2019).

El cuarto objetivo es la electrificación del transporte en las ciudades. Aquí pueden distinguirse dos tipos de políticas. Por un lado, están aquellas que disminuyen los costos de adquisición de los vehículos eléctricos para uso privado mediante menos impuestos o introduciendo subsidios, lo que es desaconsejable debido a su costo fiscal y sesgo regresivo. Por otro lado, se pueden disminuir los costos de uso favoreciendo la expansión de la infraestructura de carga, en especial coordinando para que exista cobertura en todo el territorio. Las experiencias en Estados Unidos y Noruega respecto a los subsidios a la infraestructura de carga indican que estos tienen un impacto en la adopción de vehículos eléctricos de aproximadamente el doble que los subsidios del mismo monto dirigidos a la adquisición. Este fenómeno es especialmente relevante en las primeras etapas de la electrificación de vehículos, cuando la infraestructura de carga es limitada, y su impacto disminuye posteriormente (Li et al., 2017; Springel, 2021).

En línea con lo expuesto anteriormente, el desafío de reducir las emisiones en el transporte de carga requiere un abordaje diferente para el transporte liviano y pesado. Puesto que la electrificación no es viable aún en el transporte pesado, las políticas deben enfocarse en promover una mayor eficiencia energética de todo el proceso logístico mediante la introducción de impuestos y la remoción de subsidios a los combustibles fósiles, impuestos a la propiedad de vehículos que penalicen su antigüedad y el desarrollo de infraestructura ferroviaria complementaria al camión cuando la relación costo-beneficio lo justifique.



### **Las prioridades de la electrificación están en los buses urbanos y el transporte de carga liviano o de última milla**

En el transporte de carga liviana existen oportunidades de electrificación que deben promoverse con impuestos a los combustibles fósiles y el desarrollo de infraestructura de recarga. Además, pueden explorarse programas especiales de crédito para la electrificación de la flota, especialmente en las ciudades donde los costos de contaminación del aire son mayores y existen muchas empresas de logística urbana pequeñas.