



Policy Paper N°28

**Transición energética
en el transporte urbano
de América Latina y el
Caribe: diagnóstico,
desafíos y
oportunidades**



Transición energética en el transporte urbano de América Latina y el Caribe

Diagnostico, oportunidades, desafíos y recomendaciones.

Raúl Ramos

Reporte presentado a:



Octubre de 2023

Índice general

1. Resumen Ejecutivo	4
2. Introducción	6
3. Diagnostico	8
3.1. El transporte urbano en LAC	8
3.2. Emisiones de la industria de transporte	9
3.2.1. Emisiones de GEI	10
3.2.2. Material particulado	10
4. Tecnologías Vehiculares	13
4.1. Buses Urbanos	13
4.2. Dispositivos para la Micromovilidad	16
5. Políticas de Transición Energética	18
5.1. Flota de buses eléctricos	20
5.2. Regulación de servicios de Micromovilidad	21
6. Oportunidades, Barreras y Recomendaciones	23
6.1. Transporte Público Urbano	23
6.2. Micromovilidad	25

Índice de figuras

2.1. Porcentaje de población urbana en LAC	6
2.2. Instrumentos para evitar, cambiar y mejorar el transporte urbano	7
3.1. Partición Modal en LAC	8
3.2. Densidad de población y Tasa de Motorización en LAC	9
3.3. Emisiones de GEI por sector	10
3.4. Emisiones Gases Efecto Invernadero sector transporte por carretera	11
3.5. Emisiones de CO_2 per cápita del sector transporte en LAC	11
3.6. Material particulado $PM_{2,5}$ en zonas urbanas	12
3.7. Emisiones de Material Particulado en Colombia	12
4.1. Metodología emisiones en el ciclo de vida de los vehículos	13
4.2. Emisiones en el ciclo de vida de buses urbanos	14
4.3. Emisión de CO_2 por pasajero-km vs factor de emisiones de la electricidad	15
4.4. Dispositivos de Micromovilidad	16
4.5. Emisiones en el ciclo de vida de modos de micromovilidad	17
5.1. Avance políticas implementadas en LAC	18
5.2. Flota de buses eléctricos en América Latina y el Caribe	20
5.3. Nuevo modelo de negocio RED (Transantiago)	20
5.4. Conclusiones costos totales de la propiedad (TCO, Total Cost of Ownership) en Santiago	21
6.1. Recomendaciones para la adopción de flotas cero emisiones en el transporte público	25
6.2. Recomendaciones para fomentar la Micromovilidad	26

Índice de tablas

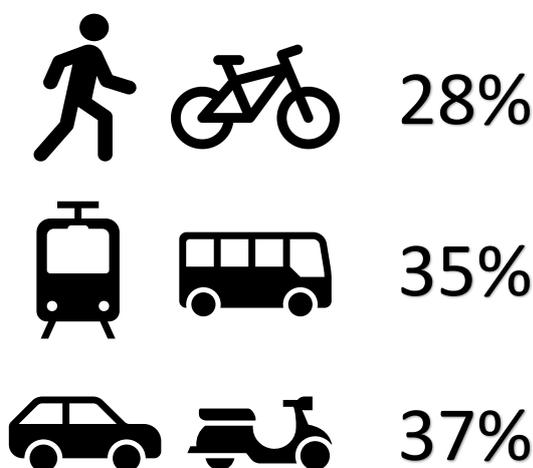
4.1. Sostenibilidad de tecnologías para buses urbanos	16
5.1. Políticas para la transición energética del sector transporte	19
5.2. Políticas para servicios de micromovilidad compartida	22
6.1. Oportunidades y Barreras para la adopción de buses cero emisiones	24

Capítulo 1

Resumen Ejecutivo

¿Por qué es importante la transición energética en el transporte urbano de América Latina y el Caribe? Hoy en día, el 80 % de la población de América Latina y el Caribe reside en áreas urbanas. Sin embargo, el crecimiento urbano ha sido en gran medida no planificado, lo que ha resultado en graves problemas de congestión y contaminación.

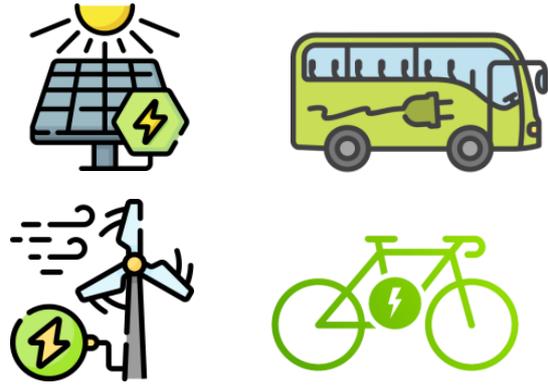
¿Cómo es la movilidad urbana en América Latina y el Caribe? Gracias a las bajas tasas de motorización y a la alta densidad urbana, la mayoría de los viajes en la región se realizan utilizando modos de transporte sostenibles. En promedio, el 28 % de los viajes se hacen a pie o en bicicleta, mientras que el 35 % de los viajes se efectúa en transporte público, particularmente en buses urbanos. A pesar de esto, es importante destacar que el servicio de transporte público en la región suele ser prestado por empresas privadas con un nivel bajo de regulación y supervisión.



¿Cuánto contribuye el transporte terrestre al cambio climático? El sector del transporte por carretera representa el 15 % del total de Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos en la región. A pesar de esto, las emisiones per cápita de este sector son menores en comparación con las observadas en Europa y Estados Unidos. Sin embargo, es importante destacar que las concentraciones de material particulado, que tienen un impacto negativo en la salud, superan los valores recomendados por la organización mundial de la salud.

¿Cuáles modos se deben priorizar para mitigar el cambio climático? La reducción de las emisiones de GEI requiere de la implementación de medidas orientadas a la demanda para *evitar* viajes innecesarios, *cambiar* hacia modos más sostenibles y *mejorar* las tecnologías vehiculares. Por lo tanto, la transición energética del transporte urbano debe priorizar el transporte público y la micromovilidad.

¿Cuál es la mejor tecnología para los buses urbanos? Los buses eléctricos con batería son la tecnología que genera menos emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida del vehículo, especialmente cuando la generación de energía utilizada no depende de combustibles fósiles. Por otro lado, los biocombustibles generados de manera sostenible pueden ser considerados como una alternativa de transición en el corto plazo.



¿Por qué se debe fomentar la micromovilidad? La micromovilidad es una opción de transporte accesible y eficiente que se ha convertido en una alternativa al uso de automóviles y motocicletas para viajes cortos, y como conexión de primera y última milla con el transporte público. Además, los dispositivos de micromovilidad como bicicletas y scooters de uso personal, ofrecen una reducción significativa en las emisiones. Los servicios compartidos de micromovilidad, por otro lado, ofrecen menos beneficios ambientales debido a la corta vida útil de los vehículos.

¿Qué tipo de políticas se han implementado en América Latina y el Caribe? La mayoría de los países de la región han adoptado beneficios fiscales y otros incentivos económicos para fomentar la compra de vehículos eléctricos. Sin embargo, actualmente, estos vehículos representan menos del 1% de las ventas totales. Por otro lado, los gobiernos han optado por implementar regulaciones y tarifas rigurosas para los permisos de circulación de los servicios compartidos de bicicletas y scooters eléctricas, lo que ha resultado en que solo unas pocas compañías operen en la región.



¿Cómo va la transición energética en el transporte público? Actualmente, están operando 5.000 buses eléctricos en la región. De hecho, las flotas eléctricas de Bogotá y Santiago son las más grandes del mundo por fuera de China.

¿Cómo adoptar una flota de buses cero emisiones? En base a las experiencias de Santiago y Bogotá, la adopción de una flota cero emisiones requiere cuatro elementos: (i) fortalecer, técnica y legalmente las instituciones públicas, (ii) seleccionar la tecnología que mejor se adapte a las necesidades de la ciudad (iii), desarrollar un modelo de negocio que des- agregue responsabilidades y riesgos de compra y

operación y (iv) garantizar el repago del financiamiento con recursos diferentes a la tarifa (subsidios).

¿Qué hacer para fomentar la micromovilidad? Se debe flexibilizar la regulación de los servicios de micromovilidad compartidos, construir infraestructura para bicicletas y scooters, e implementar instrumentos económicos para *cambiar* viajes en auto por viajes en dispositivos de micromovilidad.

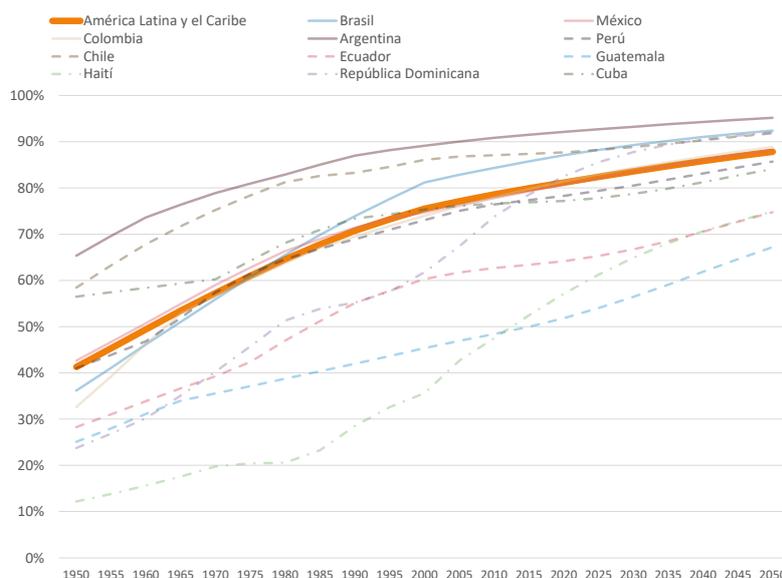


Capítulo 2

Introducción

En las últimas décadas, América Latina y el Caribe (LAC) ha experimentado un importante crecimiento urbano. Como se muestra en la Figura 2.1, en 1950, solo el 40 % de la población habitaba en ciudades, mientras que en 2020, esta proporción aumentó a más del 80 %. Como consecuencia de este crecimiento urbano acelerado, las ciudades de la región han experimentado una expansión territorial significativa que, en muchos casos, se ha llevado a cabo de forma desordenada e informal. La falta de una adecuada planificación ha llevado a que la mayoría de las ciudades de la región carezcan de un sistema de transporte eficiente, lo que provoca graves problemas de congestión vehicular, mala calidad del aire y altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Figura 2.1: Porcentaje de población urbana en LAC

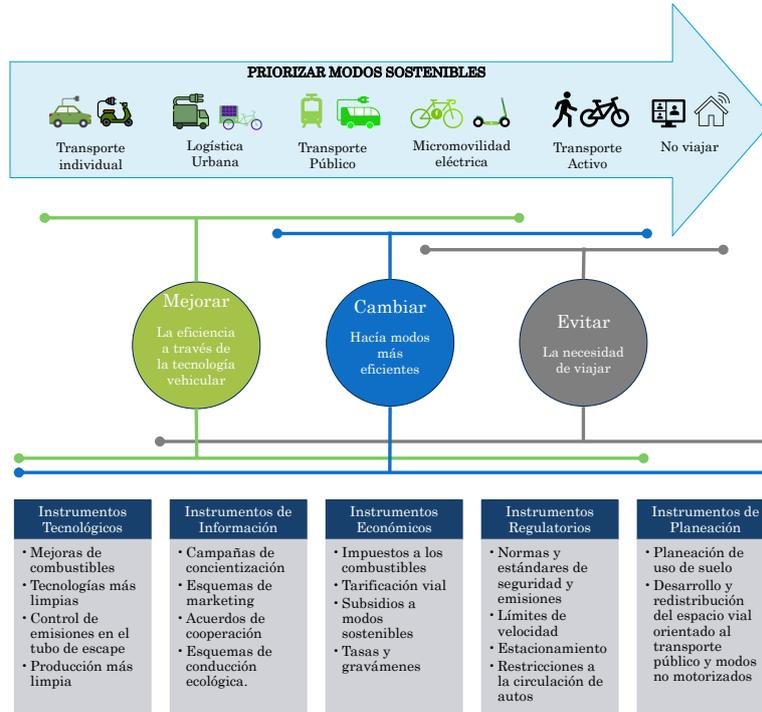


Fuente: United Nations (2018)

La reducción de las emisiones en los sistemas urbanos es fundamental para alcanzar los objetivos globales de lucha contra el cambio climático (IPCC, 2022c). Cambios en la planificación del uso del suelo, la forma urbana, la ubicación de los lugares de trabajo y zonas residenciales, así como los sistemas e infraestructura de transporte, son esenciales para alcanzar las metas de descarbonización de las ciudades (IPCC, 2023). En este contexto, la sustitución de los automóviles convencionales por vehículos eléctricos se ha consolidado como la política principal para reducir las emisiones del transporte urbano. Medidas dirigidas a fomentar la compra de automóviles eléctricos, como beneficios fiscales y excepciones a las restricciones vehiculares, son comunes en la región (Cazzola and Santos Alfageme, 2023). Sin embargo, la electrificación de la totalidad de la flota vehicular solo reduciría las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 33 % (IPCC, 2022,b), y no abordaría problemas urbanos como la congestión y los accidentes de tráfico (Brand et al., 2021; Creutzig et al., 2018; Schröder et al., 2023; Sustainable Mobility for All, 2021).

Por lo tanto, la transición hacia tecnologías cero emisiones en el transporte urbano debe enmarcarse en una visión más amplia de la movilidad que promueva la migración hacia modos sostenibles como el transporte público, la caminata y la bicicleta, y fomente la adopción de dispositivos y servicios bajos en emisiones, como las bicicletas y scooters eléctricas. La implementación de este conjunto de medidas reduce las emisiones en un 70 % y forma parte de las estrategias orientadas a la demanda de servicios denominada *Evitar, Cambiar y Mejorar* (Avoid, Shift and Improve) recomendada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2022,b).

Figura 2.2: Instrumentos para evitar, cambiar y mejorar el transporte urbano



Fuente: Adaptado de Sustainable Mobility for All (2021)

La Figura 2.2 resume este enfoque de la movilidad sostenible de la siguiente manera:

- **Evitar:** Políticas que tienen como objetivo reducir la cantidad y la longitud de los viajes, especialmente aquellos realizados en vehículos particulares. Ejemplos de este tipo de instrumentos son la gestión de la demanda y los instrumentos de planificación del uso del suelo.
- **Cambiar:** Medidas que buscan incentivar (“pull”) el uso de modos sostenibles, y desincentivar (“push”) los modos menos eficientes. Incluye políticas como los cobros por congestión, la regulación del estacionamiento en vía y la priorización del transporte público.
- **Mejorar:** Instrumentos que buscan mejorar la eficiencia de los modos de transporte a través de cambios en las tecnologías vehiculares y en los sistemas de información, gestión y control del tráfico.

Así, en el marco de los objetivos de cambio climático, la transición hacia vehículos cero emisiones en el transporte urbano debe focalizarse en modos sostenibles como el transporte público y la denominada micromovilidad (bicicletas y scooters eléctricas). Por otro lado, más que fomentar la transición a autos cero emisiones, se deben implementar políticas que busquen *evitar* los viajes en auto y *cambiar* hacia modos más sostenibles (ver, por ejemplo, Cunha Linke et al., 2018; Estupiñán et al., 2018; Moscoso et al., 2019; Papaioannou and Windisch, 2022). En este contexto, y como parte del proyecto RED 2024 de la CAF, este artículo presenta un diagnóstico de la situación actual en materia de transición energética en el transporte urbano en América Latina y el Caribe, un análisis de los impactos ambientales de las tecnologías disponibles para el transporte público y la micromovilidad, y una revisión de las oportunidades, barreras y desafíos para la transición energética en el transporte urbano de la región.

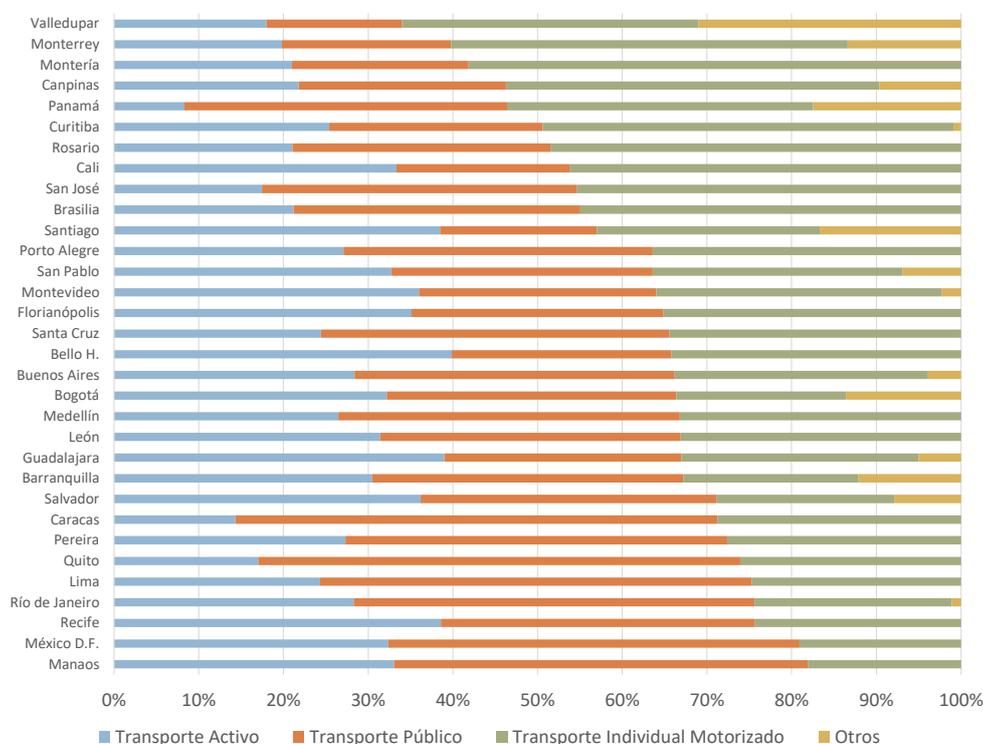
Capítulo 3

Diagnostico

3.1. El transporte urbano en LAC

Como se observa en la Figura 3.1, la movilidad urbana en América Latina y el Caribe se caracteriza por una alta utilización de modos sostenibles. En promedio, el 28 % de los viajes se realiza a pie o en bicicleta, y el 35 % en transporte público. En este apartado, se destacan ciudades de gran tamaño como la Ciudad de México, Río de Janeiro, Lima y Quito, donde más del 75 % de los viajes se realizan en modos de bajas emisiones. En contraste, en Panamá y Monterrey, la mayoría de los traslados se hacen en vehículos particulares. Los casos de Montería y Valledupar son particularmente interesantes. En estas ciudades, el modo más utilizado es la motocicleta, lo que impacta directamente en la demanda de transporte público, la cual se sitúa muy por debajo del promedio de la región. El auge de la motocicleta en estas y otras ciudades intermedias se debe principalmente a su bajo costo, a su capacidad para evitar la congestión y, además, a que es utilizada como vehículo informal de transporte público individual (Rodríguez et al., 2015).

Figura 3.1: Partición Modal en LAC



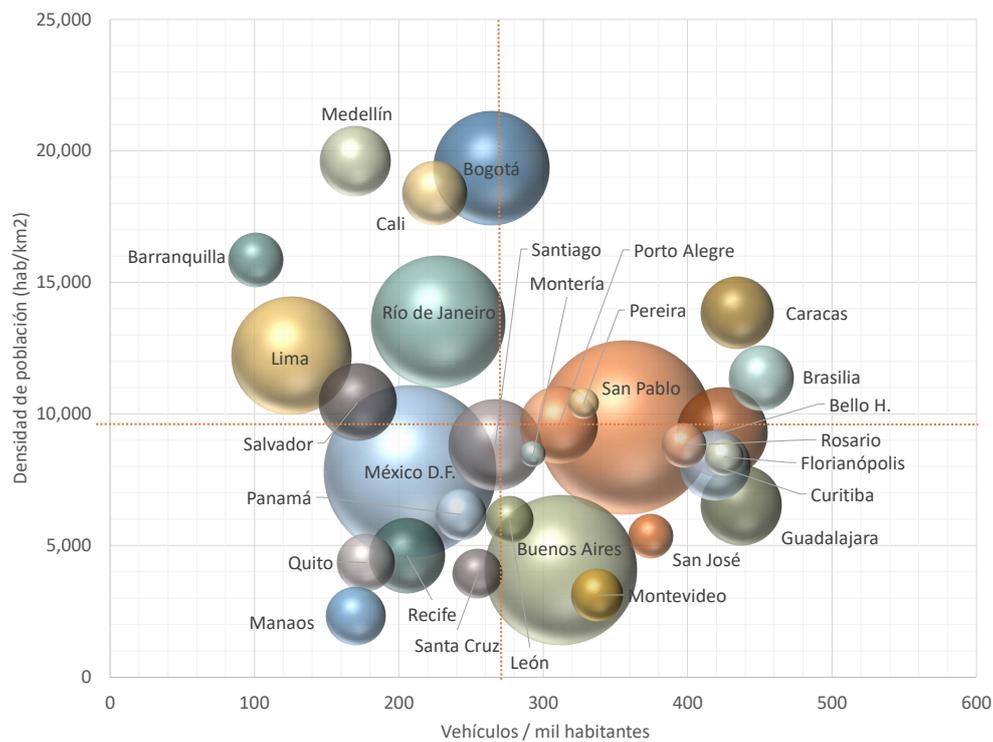
Fuente: Observatorio de Movilidad Urbana (CAF, 2016; OMU, 2023), TUMI (2023)

Cabe destacar que en la mayoría de las ciudades de la región, el único modo de transporte público es el bus. Sin embargo, el servicio de buses urbanos se presta comúnmente por empresas

privadas con poca regulación y de forma casi informal (Moscoso et al., 2019). Para remediar esta situación, en las últimas décadas, se han realizado grandes esfuerzos por mejorar y formalizar el transporte público a través de la implementación de sistemas tipo *Bus Rapid Transit* (BRT). Así, en la actualidad, más de 60 ciudades de la región tienen sistemas BRT, totalizando más de dos mil kilómetros de troncales y cerca de ocho millones de pasajeros por día (BRTData, 2023). Además, incluso en ciudades con una amplia oferta de líneas de metro, como Santiago, casi el 80 % de las personas utiliza el bus en alguna de sus etapas de viaje (Navas et al., 2021).

Un factor que favorece la movilidad sostenible es que las tasas de motorización en la región siguen siendo relativamente bajas si se comparan con Europa (470 vehículos por cada mil habitantes) y Estados Unidos (800 vehículos por cada mil habitantes). Por ejemplo, en la Ciudad de México y Lima, la tasa de motorización es inferior a 200 vehículos por cada mil habitantes, lo que explica que menos del 25 % de los viajes en estas ciudades se realice en modos motorizados particulares. Por otro lado, en Rosario, Curitiba y Brasilia, la tasa de motorización es superior a 400 vehículos por cada mil habitantes, lo que conduce a que más del 40 % de los viajes se realice en automóviles o motocicletas. Además, existe una correlación entre la densidad de población y las tasas de motorización. Ciudades dispersas como Buenos Aires y Montevideo crean condiciones favorables para la compra y uso de autos y motocicletas, mientras que ciudades compactas como Bogotá y Medellín tienen tasas de motorización más bajas porque los viajes tienden a ser más cortos y la provisión de transporte público es más eficiente (Figura 3.2).

Figura 3.2: Densidad de población y Tasa de Motorización en LAC



Fuente: Observatorio de Movilidad Urbana CAF (2016)

En resumen, las bajas tasas de motorización y la alta densidad urbana en las ciudades de América Latina y el Caribe favorecen la utilización de modos activos y el transporte público. Por lo tanto, las políticas orientadas a la transición energética en el transporte urbano de la región deben centrarse en estos modos de transporte.

3.2. Emisiones de la industria de transporte

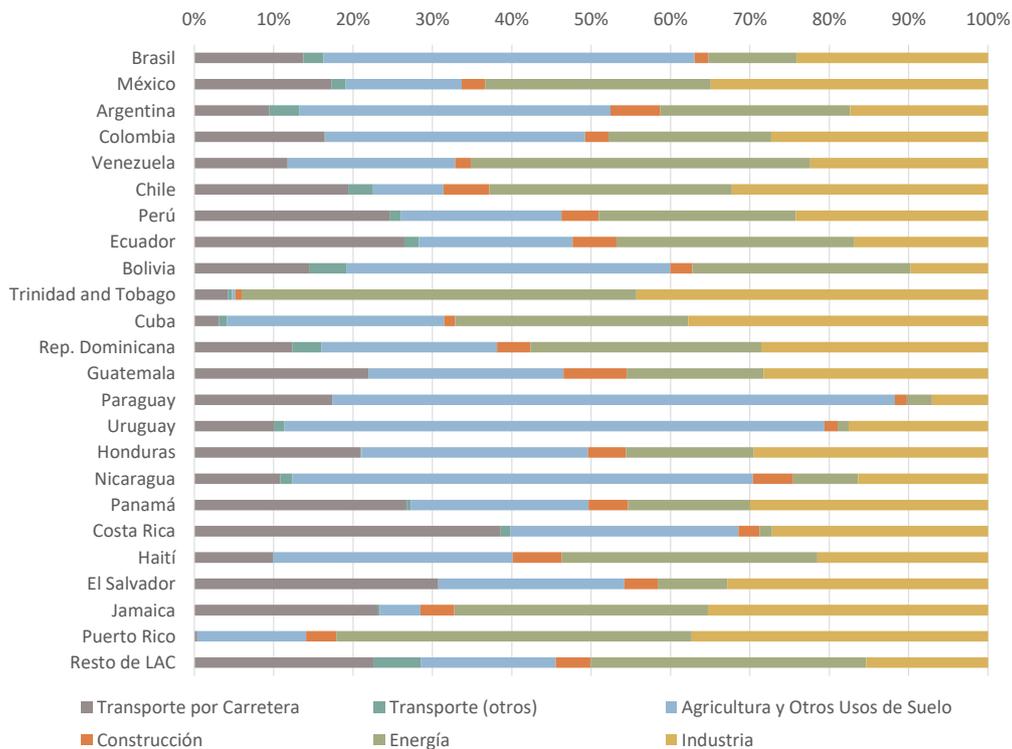
La industria del transporte genera dos tipos de contaminantes atmosféricos: contaminantes globales que contribuyen al cambio climático y contaminantes locales que causan enfermedades respiratorias y otros problemas de salud. La producción de ambos tipos de contaminantes está

íntimamente relacionada, por lo que lograr la neutralidad de carbono tiene el beneficio adicional de mejorar la salud pública. A continuación, se presenta un breve diagnóstico de la generación de emisiones del sector del transporte en la región.

3.2.1. Emisiones de GEI

La Figura 3.3 muestra las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas por cada sector de la economía en los países de la región. La industria del transporte por carretera representa el 15 % del total de emisiones. Sin embargo, esta participación varía considerablemente según el nivel de industrialización y la fuente de generación de energía de cada país. Por ejemplo, en Costa Rica, donde la generación de energía eléctrica tiene bajas emisiones de carbono, el transporte terrestre contribuye con casi el 60 % de las emisiones, mientras que en países más industrializados o con una intensa actividad agrícola, el transporte representa menos del 20 % de las emisiones.

Figura 3.3: Emisiones de GEI por sector



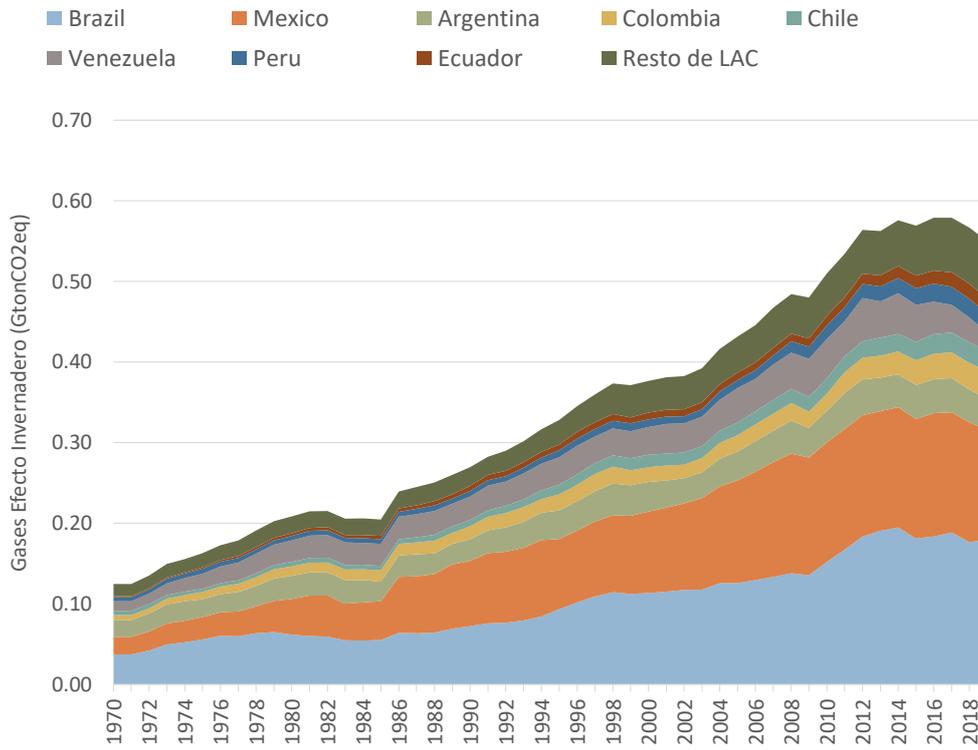
Fuente: EDGAR v6.0 Greenhouse Gas Emissions Ferrario et al. (2021); Minx et al. (2021)

No sorprende que Brasil y México, al ser los países más poblados y extensos de la región, aporten más de la mitad de las emisiones del sector (Figura 3.4). Se observa, además, que las emisiones experimentaron un crecimiento exponencial entre 1970 y 2010. Sin embargo, en la última década, las emisiones de GEI se han estabilizado e incluso muestran una tendencia decreciente en los últimos años. Además, la producción de CO₂ por habitante del sector transporte en América Latina y el Caribe (Figura 3.5), está muy por debajo del promedio de los EE. UU. (4.4 Ton/hab) y Europa (1.7 Ton/hab).

3.2.2. Material particulado

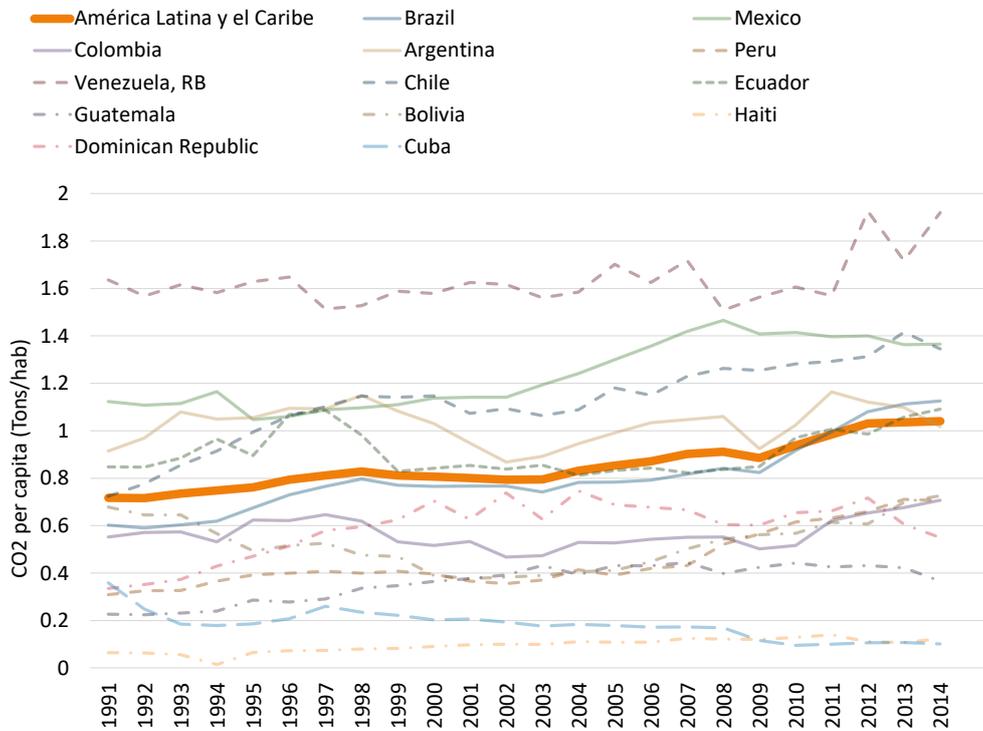
La Figura 3.6 muestra que el Material Particulado (MP) en los países de la región está por encima de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, WHO, 2021). Por ejemplo, el promedio de las mediciones de $MP_{2.5}$ en las ciudades chilenas duplica este valor, por lo que las autoridades de este país han implementado políticas de control de emisiones industriales, domiciliarias y vehiculares, logrando reducir el material particulado en un 60 % en los últimos 30 años (Navas et al., 2021).

Figura 3.4: Emisiones Gases Efecto Invernadero sector transporte por carretera



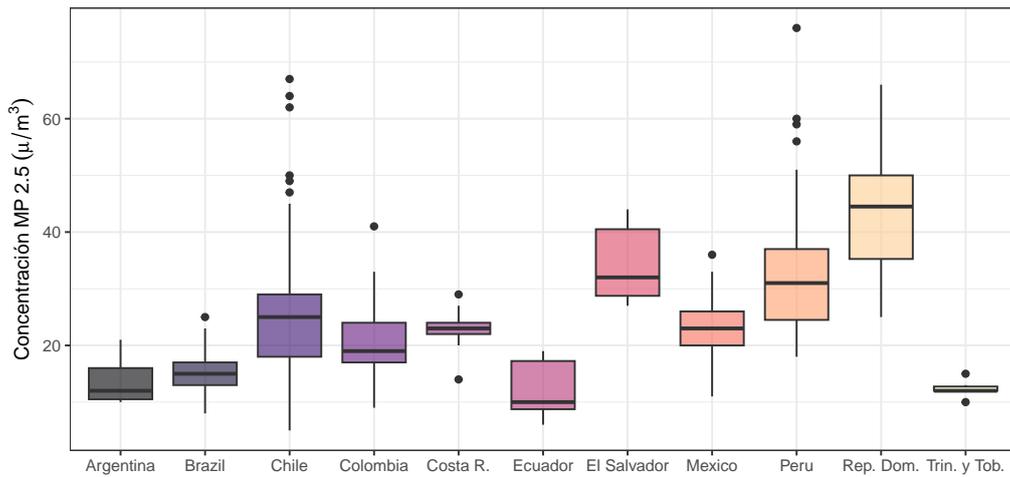
Fuente: EDGAR v6.0 Greenhouse Gas Emissions Ferrario et al. (2021); Minx et al. (2021)

Figura 3.5: Emisiones de CO₂ per cápita del sector transporte en LAC



Fuente: Co2 emissions from transport World Bank (2014)

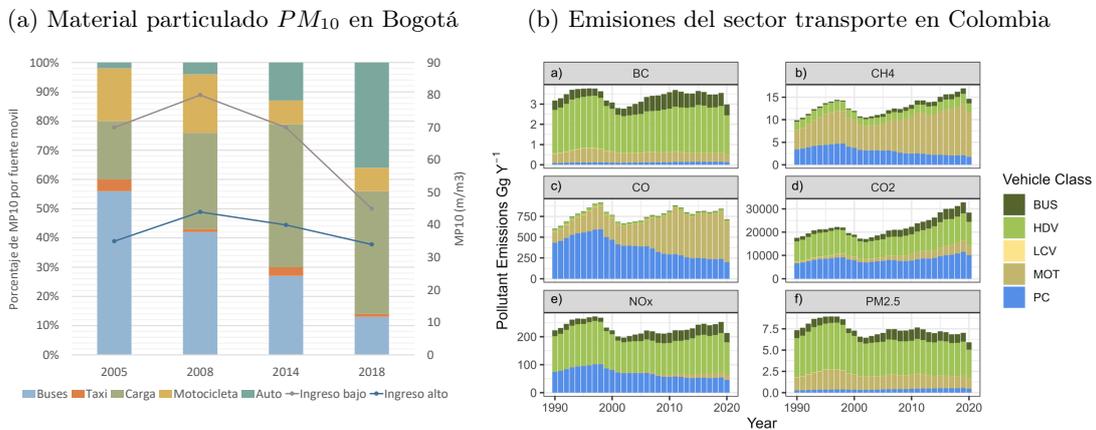
Figura 3.6: Material particulado $PM_{2.5}$ en zonas urbanas



Fuente: Ambient air quality database WHO (2023)

En Bogotá, los vehículos más contaminantes en 2005 eran los buses. No obstante, con la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), el aporte de los buses a la mala calidad del aire disminuyó del 56% al 30% (Figura 3.7). Un análisis similar realizado en todo el territorio colombiano revela que los camiones y los autos son los mayores generadores de CO_2 , mientras que los camiones y motocicletas generan la mayoría del $MP_{2.5}$. Además, llama la atención el alto impacto de las motocicletas en las emisiones de CH_4 y CO , lo que revela que este tipo de vehículos podría estar generando problemas de salud en las ciudades donde su uso es más extendido.

Figura 3.7: Emisiones de Material Particulado en Colombia



Fuente: Adaptado de Bocarejo and Urrego (2022) y Rojas et al. (2023)

Capítulo 4

Tecnologías Vehiculares

La formulación de políticas públicas para la transición energética del sector transporte requiere un análisis profundo de los impactos ambientales en el ciclo de vida de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado. Es decir, desde la extracción de los insumos para la producción de combustible y la construcción del vehículo, hasta la disposición final de todos sus componentes (Figura 4.1). Así, en línea con la estrategia de descarbonización del transporte centrada en la demanda (IPCC, 2022,b), a continuación se presenta un análisis de tecnologías para buses urbanos y dispositivos de micromovilidad.

Figura 4.1: Metodología emisiones en el ciclo de vida de los vehículos



Fuente: *Buberger et al. (2022)*

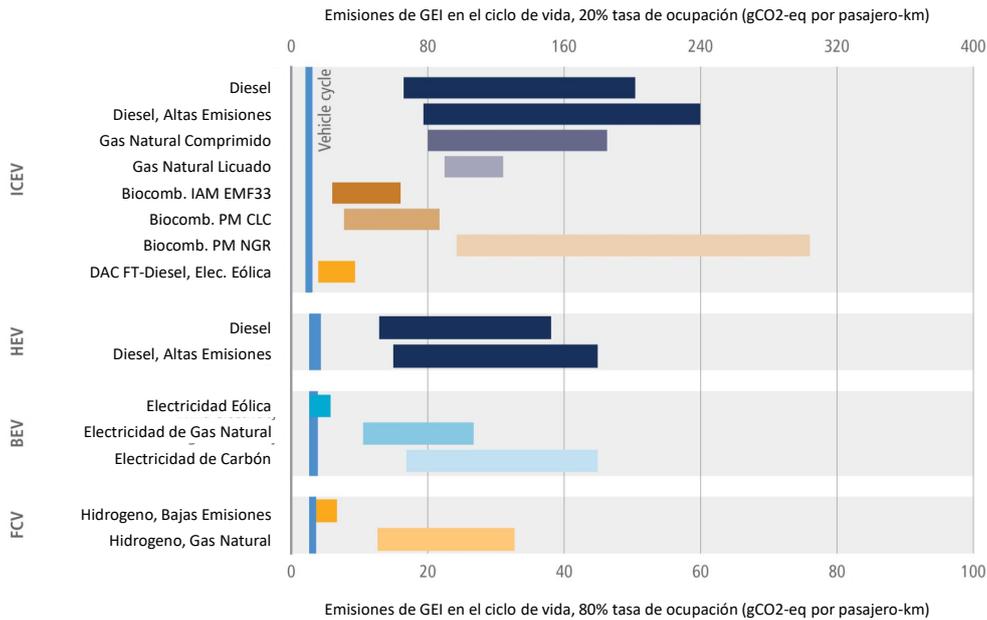
4.1. Buses Urbanos

Los buses urbanos siguen siendo el modo de transporte más utilizado en América Latina y el Caribe. Por lo tanto, la transición hacia buses cero emisiones debe ser prioritaria para alcanzar las metas climáticas. En la actualidad, la industria ofrece una gran variedad de opciones tecnológicas, como buses de celdas de combustible, eléctricos e híbridos, además de combustibles alternativos de origen vegetal y sintéticos. Por lo tanto, la selección de la tecnología más adecuada para llevar a cabo la transición energética en el transporte público requiere de un análisis profundo de los impactos ambientales asociados a cada tipología. En este contexto, la Figura 4.2 resume los resultados de 11 estudios que cuantifican las emisiones de GEI en el ciclo de vida de un bus urbano equipado con cada una de estas tecnologías, donde la longitud de las barras representa la variabilidad en las estimaciones debido a factores como la eficiencia, tamaño y rango de conducción.

Los Vehículos Eléctricos a Batería (BEV) y los Vehículos de Celdas de Combustible (FCV) ofrecen reducciones significativas en las emisiones en comparación con los Vehículos de Combustión Interna (ICEV). Sin embargo, las reducciones de estas tecnologías son mínimas si la generación de electricidad y la producción del hidrógeno dependen de combustibles fósiles. Por otro lado, los buses impulsados por Gas Natural Comprimido o Licuado generan emisiones inferiores en comparación con los buses Diesel. No obstante, es poco probable que estas tecnologías contribuyan significativamente a la descarbonización del sector transporte y, de hecho, podrían ralentizar la conversión a alternativas cero emisiones disponibles en el mercado (IPCC, 2022b).

Los biocombustibles pueden ser una buena alternativa a corto plazo, ya que pueden utilizarse con la tecnología vehicular existente. Sin embargo, la huella de carbono de este tipo de combustible depende en gran medida de las emisiones relacionadas con el uso del suelo. Otros combustibles alternativos, como el Diesel sintético producido a partir de la captura de CO_2 (DAC FT), también

Figura 4.2: Emisiones en el ciclo de vida de buses urbanos



ICEV: Motor de Combustión Interna; HEV: Vehículo Híbrido Eléctrico; BEV: Vehículo Eléctrico de Batería; Diesel, altas emisiones: Diesel de arenas petrolíferas; Biocomb.: segunda generación de combustibles (biocombustibles avanzados); IAM EMF33: factores de emisión para biocombustibles avanzados derivados de los resultados de la simulación EMF33; PM: Modelos Parciales; CLC: Cobertura Terrestre Constante; NRG: Recrecimiento Natural; DAC FT-Diesel, electricidad eólica: Diésel Fischer-Tropsch producido mediante un proceso de captura directa de aire de CO₂ que utiliza electricidad eólica; FCV: Vehículo de Celdas de Combustible; Hidrógeno, Bajas Emisiones: Producido vía electrolisis usando electricidad baja en carbono; Hidrógeno, Gas Natural: Producido vía metano reformando gas natural.

Fuente: Adaptado de IPCC (2022b)

pueden utilizarse con las tecnologías vehiculares actuales. No obstante, su producción requiere electricidad, por lo que, al igual que las tecnologías denominadas cero emisiones, solo ofrece reducciones significativas en la producción de GEI si la generación de energía no depende de combustibles fósiles.

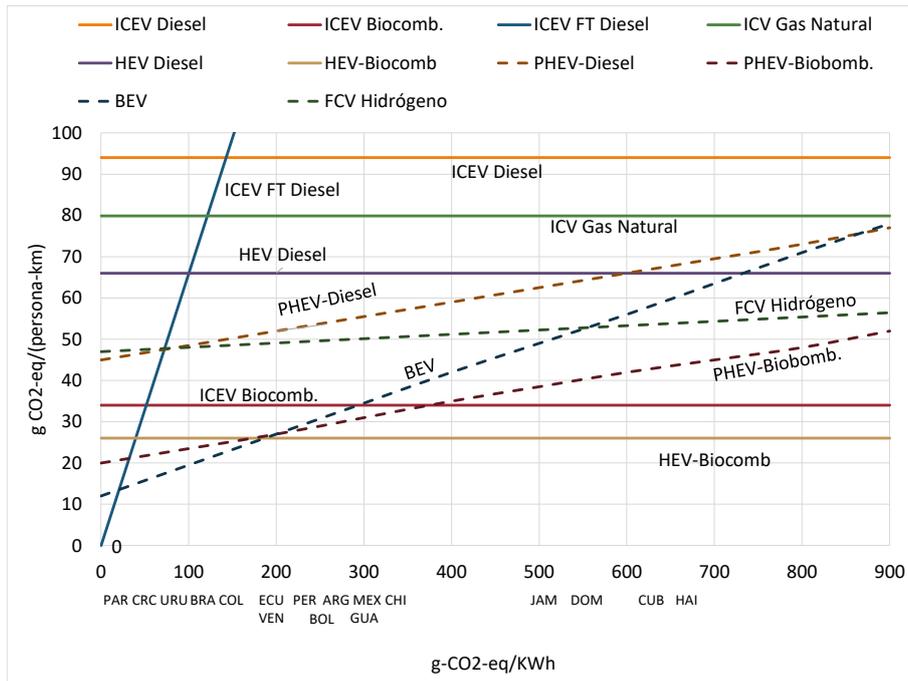
Estos resultados demuestran la importancia del factor de emisiones en la generación de electricidad para la transición energética del transporte urbano. La Figura 4.3 ilustra esta relación de manera más clara al presentar las emisiones de CO₂ de diferentes tecnologías para un nivel determinado de intensidad de carbono en la generación de energía. La gráfica se basa en dos estudios realizados en Suecia (Gustafsson et al., 2021; Nordelöf et al., 2019), por lo que los resultados no pueden transferirse directamente a América Latina y el Caribe. No obstante, con fines ilustrativos, en el eje horizontal se indican los factores de emisiones de algunos países de la región.

Como era de esperarse, independientemente de la intensidad de emisiones del sector energético, las tecnologías más contaminantes son los buses que dependen del Diesel y del Gas Natural, incluyendo tecnologías vehiculares híbridas (HEV) y de celdas de combustible (FCV). Cuando el factor de emisiones es inferior a 200 g CO₂/KWh, como en Paraguay, Costa Rica y Brasil, las alternativas menos contaminantes son los buses eléctricos a batería (BEV), seguidos de los buses híbridos conectables (PHEV) que utilizan biocombustibles.

Por otro lado, si el factor de emisiones se sitúa entre 200 y 400 g CO₂/KWh, las tecnologías que utilizan biocombustibles pasan a ser las menos contaminantes, aunque los buses eléctricos siguen siendo una tecnología con potencial de reducir significativamente las emisiones. Por último, cuando el factor de emisiones de la electricidad es superior a 500 g CO₂/KWh, como en Jamaica, Cuba y Haití, los buses eléctricos dejan de ser una tecnología ambientalmente viable y, de hecho, alternativas fósiles como el hidrógeno producido con gas natural, resultan mejores.

Si bien estos resultados son útiles para ilustrar la importancia del factor de emisiones, la determinación de la mejor tecnología vehicular requiere de un análisis con las condiciones específicas de cada país. Pero, desafortunadamente, la literatura al respecto es escasa en la región. Quizá el estudio más completo es el realizado por Correa et al. (2019) en Argentina, Brasil y Chile.

Figura 4.3: Emision de CO_2 por pasajero-km vs factor de emisiones de la electricidad



ICEV: Motor de Combustión Interna, Biocomb: Biocombustible (aceite vegetal hidrogenado), FT Diesel: Diésel Fischer-Tropsch, HEV: Vehículo Híbrido Eléctrico, PHEV: Vehículo Híbrido Eléctrico Conectable, BEV: Vehículo eléctrico de Batería, FCV Hidrógeno: Hidrógeno producido a partir de gas natural.

Fuente: Adaptado de Nordelöf et al. (2019), Gustafsson et al. (2021) y Carbon footprint (2023)

Este artículo evalúa tres factores para determinar la sostenibilidad de las tecnologías disponibles en el mercado: la eficiencia energética en el ciclo de vida del vehículo, las emisiones de NO_x y CO , y el tiempo de recarga. Se analizan dos escenarios: el primero, considera la matriz energética y de producción de combustibles de 2017, mientras que el segundo, contempla las metas de transición energética de cada país para el 2030. Además, Correa et al. (2019) consideran dos rangos operacionales para los vehículos: corto alcance y largo alcance.

La Tabla 4.1 resume los resultados de esta evaluación, donde la tecnología marcada con $\checkmark\checkmark$ es la más sostenible, mientras que las tecnologías marcadas con \checkmark , aunque no son las mejores, son competitivas en comparación con la mejor. En Argentina y Chile, la alternativa más sostenible en el escenario de 2017 es el bus Diésel, seguido de los buses híbridos. Esto ocurre porque la generación de energía en estos países dependía en un 60% de combustibles fósiles, además de que las pérdidas en la transmisión oscilaban entre el 7% y el 16%. Sin embargo, si se alcanzan las metas de descarbonización de la electricidad y la producción de hidrógeno en 2030, los buses híbridos de celdas de combustible (FCHEV) y los buses eléctricos pasan a ser tecnologías sostenibles para servicios de corto alcance y, en menor medida, para servicios de largo aliento.

Por otro lado, gracias a que la matriz energética de Brasil no depende de combustibles fósiles, los vehículos de celdas de combustible y, en menor medida, los eléctricos, resultan ser más sostenibles que los vehículos Diésel e híbridos para servicios de corto alcance. Por otro lado, en el escenario futuro, las tecnologías eléctricas y de celdas de combustible dominan para todos los rangos de operación gracias a una matriz energética libre de carbono. Por último, es importante señalar que si se excluye la variable del tiempo de recarga del análisis y, por lo tanto, se evalúa únicamente la eficiencia energética y el factor de emisiones, los buses eléctricos a batería dominan en el escenario futuro para todos los rangos y en todos los países.

En resumen, la literatura señala que la mejor alternativa para descarbonizar el transporte público urbano son los buses eléctricos. Esto requiere una matriz energética con niveles bajos de emisiones, es decir, menos de $200\ g\ CO_2/KWh$, como será el caso en la mayoría de los países de la región si se cumplen las metas de descarbonización de la generación de energía fijadas para cumplir los compromisos climáticos (IPCC, 2022a). Por otro lado, el uso de biocombustibles en buses convencionales resulta ser una alternativa de transición, ya que no requiere cambios en las tecnologías vehiculares. Sin embargo, los impactos ambientales de este tipo de combustibles

Tabla 4.1: Sostenibilidad de tecnologías para buses urbanos

Pais	Año	Rango (kms)	ICEV	HEV	FCHEV	BEV
Argentina	2017	Corto	✓✓	✓		
		Largo	✓✓	✓		
	2030	Corto			✓✓	✓
		Largo			✓✓	
Chile	2017	Corto	✓✓	✓		✓
		Largo	✓✓	✓		
	2030	Corto			✓	✓✓
		Largo	✓✓	✓	✓	✓
Brasil	2017	Corto	✓		✓✓	✓
		Largo	✓✓	✓		
	2030	Corto			✓	✓✓
		Largo			✓✓	✓

ICEV: Motor de Combustión Interna, HEV: Vehículo Híbrido Eléctrico, FCHEV: Vehículo Híbrido Eléctrico y de Celdas de Combustible, BEV: Vehículo eléctrico de Batería
 ✓✓: Tecnología la más sostenible, ✓: Tecnologías competitivas en comparación con la mejor

Fuente: [Correa et al. \(2019\)](#)

dependen de las emisiones relacionadas con el uso del suelo necesario para su producción. Por último, los combustibles denominados de transición, como el Gas Natural Comprimido, ofrecen pocas reducciones en las emisiones y pueden ralentizar la transición hacia tecnologías de cero emisiones.

4.2. Dispositivos para la Micromovilidad

El término micromovilidad se refiere a dispositivos pequeños y de bajo peso que operan a baja velocidad (menos de 15 km/h). Pueden ser de propulsión humana o eléctrica, y compartidos o de propiedad privada. Por lo tanto, dispositivos eléctricos como scooters, bicicletas, patinetas, bicicletas de carga y triciclos son considerados como micromovilidad, mientras que ciclomotores y motocicletas no lo son (Figura 4.4).

Figura 4.4: Dispositivos de Micromovilidad



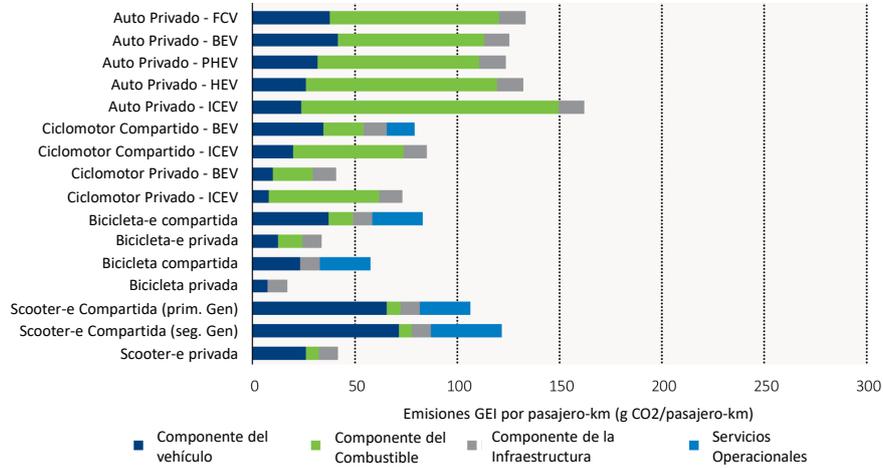
Fuente: Adaptado de [Sandt \(2019\)](#)

Como se muestra en la Figura 4.5, las emisiones en el ciclo de vida de los servicios y dispositivos de micromovilidad son inferiores a las de los autos privados debido a su alta eficiencia energética (componente del combustible). Es más, después de la bicicleta, los modos de micromovilidad privada son los que ofrecen mayores reducciones en emisiones de GEI. Por otro lado, los servicios compartidos de micromovilidad ofrecen menos beneficios ambientales debido a la corta vida útil de los dispositivos y las emisiones generadas durante la operación (traslado de dispositivos para balanceo de oferta y recarga). De hecho, estos dos factores hacen que las emisiones de las scooters compartidas sean comparables con las de los autos de combustión interna ([Hollingsworth et al., 2019](#); [Liao and Correia, 2022](#)).

Por lo tanto, las políticas destinadas a fomentar la micromovilidad deben dar prioridad a las

bicicletas y, en menor medida, a las scooters eléctricas de uso privado. En el caso de los servicios compartidos, se deben tomar medidas para reducir las emisiones durante la operación de los servicios, como el uso de camiones cero emisiones para el traslado de los dispositivos. Además, es importante prolongar la vida útil de bicicletas y scooters con el fin de reducir las emisiones relacionadas con la producción de estos vehículos.

Figura 4.5: Emisiones en el ciclo de vida de modos de micromovilidad



Fuente: The International Transport Forum (ITF, 2020, 2021a)

Capítulo 5

Políticas de Transición Energética

La mayoría de los países de América Latina y el Caribe han implementado políticas para descarbonizar el transporte por carretera. La Figura 5.1 resume el estado actual de estas políticas en algunos países de la región. El avance más importante se presenta en las medidas para incentivar la compra de vehículos cero emisiones, tales como incentivos fiscales, estímulos a la producción local y planes para desplegar redes de recarga para vehículos eléctricos (Tabla 5.1). Además, estas políticas están acompañadas de la fijación de metas relacionadas con la venta de vehículos eléctricos y la prohibición de la venta de vehículos de combustión interna. No obstante, en la actualidad, menos del 1% de las ventas de vehículos nuevos son cero emisiones debido a los altos precios, a la inadecuada infraestructura de carga y la poca disponibilidad de modelos que se adapten a las necesidades de los consumidores (Kohli et al., 2022).

Figura 5.1: Avance políticas implementadas en LAC

País	Mejoras en la eficiencia de los combustibles	Transición progresiva hacia vehículos de cero emisiones	Despliegue de infraestructura de carga	Producción de energía baja en carbono	Producción, uso, disposición y reciclaje de baterías
Argentina	4	3	3	3	3
Brasil	5	3	3	5	1
Chile	5	4	3	4	4
Colombia	4	4	3	4	3
Rep. Dominicana	1	3	3	3	3
El Salvador	1	3	3	5	3
México	5	4	4	4	2
Paraguay	1	3	3	4	3
Santa Lucía	2	3	3	5	1

5	4	3	2	1
Disponer de políticas sólidas	Tener políticas implementadas, hasta cierto punto	Desarrollando políticas	No tener políticas implementadas ni en desarrollo, pero sí en consideración	No tener políticas implementadas, en desarrollo, ni en consideración

Fuente: Cazzola and Santos Alfageme (2023)

Además de esto, la región presenta un rezago en la regulación de la producción, uso, disposición y reciclaje de las baterías para los vehículos eléctricos. Solo Chile ha implementado medidas en este sentido, mientras que el resto de los países se encuentra en fase de planificación y desarrollo. Complementando estos incentivos, Brasil, Chile y México han adoptado políticas sólidas para mejorar la eficiencia económica del uso de automóviles, tales como estándares de emisiones e impuestos a los combustibles y a la tenencia de vehículos contaminantes.

Tabla 5.1: Políticas para la transición energética del sector transporte

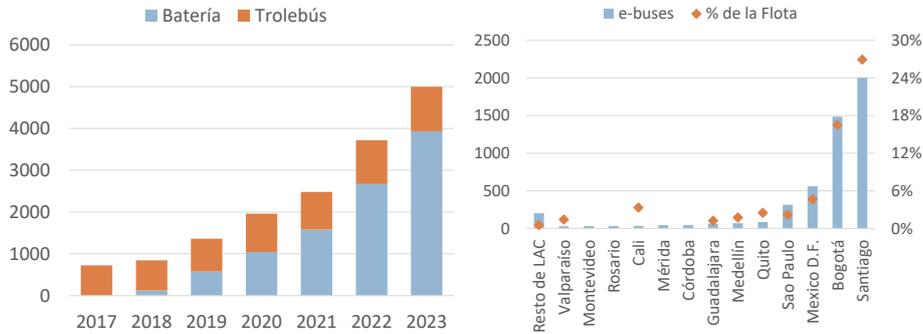
País	Políticas de Transición a vehículos cero emisiones, infraestructura de carga y manejo de baterías.
Argentina	Incentivos a la producción doméstica de vehículos cero emisiones. Prohibición de la venta de vehículos de combustión interna en 2041, Licitaciones públicas para flotas de vehículos cero emisiones. Borrador de ley para el tratamiento, recolección y reciclaje de baterías.
Brasil	Prohibición de la venta de vehículos de combustión interna en 2060. Propuesta de incentivos y tarifas a la importación de vehículos cero emisiones. Discusión sobre la instalación de capacidad productiva de vehículos cero-emisiones. Desarrollo de centros de carga para camiones, buses y autos. Propuesta legislativa para la instalación de puntos de carga en las estaciones de combustible. Despliegue de flota eléctrica para la recolección de basuras en Brasilia.
Chile	Transición progresiva hacia una flota de vehículos livianos, medianos y de transporte público 100 % eléctrica en 2030. 100 % flota eléctrica de minería, construcción y agricultura en 2040. 100 % flota eléctrica de transporte de carga e interurbano en 2045. Ley de eficiencia energética que incentiva la adopción de vehículos cero emisiones por parte de las empresas. Iniciativas para regular la interoperabilidad de los sistemas de carga. Ley de responsabilidad extendida que promueve procesos asociados al reciclaje y disposición final de las baterías. Planes para promover el desarrollo local de baterías.
Colombia	Meta de 600.000 vehículos cero emisiones en 2030. 10 % de ventas de buses cero emisiones para 2025 y 100 % para 2035. Incentivos fiscales para sustitución de vehículos antiguos. Electrificación de vehículos oficiales del gobierno. Estándares técnicos e instrumentos financieros y normativos relacionados con la infraestructura de carga.
Costa Rica	100 % de ventas de vehículos eléctricos en 2050. Reemplazo anual del 2.5 % de la flota de buses convencionales por eléctricos cada. Adquisición de 330 vehículos eléctricos asignados a agencias públicas. Mandato para la instalación de estaciones de carga cada 80 km en vías nacionales y cada 120 km en vías locales.
Ecuador	Todos los vehículos de transporte público deben ser eléctricos en 2025. Exención de aranceles a equipos de carga.
El Salvador	Legislación para otorgar ventajas económicas a los vehículos cero emisiones (impuestos de importación y tarifas de estacionamiento). Beneficios fiscales a los servicios de recarga de vehículos eléctricos. Regulación de la disposición final de las baterías.
México	5 % de las ventas deben ser cero emisiones en 2030; 50 % en 2040 y 100 % en 2050. La legislación federal exime a los vehículos eléctricos e híbridos del pago de impuesto de importación y otorga descuentos en el impuesto de renta. 30 % de créditos en impuestos por inversiones en instalaciones pública de suministro de energía para vehículos eléctricos. Planes para mejorar la infraestructura de carga de vehículos eléctricos. Planes para entrar al top 10 de productores de baterías en 2027. Regulación de la disposición final y uso de segunda mano de las baterías.
Panamá	25 % - 40 % de las ventas de vehículos privados, 10 % - 20 % de la flota privada, 15 % - 35 % de los buses y 25 %-50 % de la flota pública debe ser eléctrica en 2030.
Paraguay	Desarrollo de un fondo para la promoción de vehículos cero emisiones financiado con impuestos a los combustibles (10 %). Los vehículos eléctricos son exentos del pago de aranceles e impuestos Desarrollo de regulación para la disposición final de las baterías.
República Dominicana	Desarrollo de la estrategia de electromovilidad con un foco inicial en el transporte público. Legislación de las tarifas de electricidad para la infraestructura de carga. Regulación del correcto reciclaje de baterías.
Uruguay	Subsidios a la compra de buses eléctricos

Fuente: Cazzola and Santos Alfageme (2023), Kohli et al. (2022)

5.1. Flota de buses eléctricos

Los avances más significativos en la transición energética se presentan en el transporte público. Como se muestra en la Figura 5.2, el número de buses eléctricos ha aumentado exponencialmente en los últimos años, alcanzando casi 5.000 vehículos en 2023. De hecho, a la fecha de elaboración del presente informe, Santiago, con 2.000 buses eléctricos (27 % de la flota), y Bogotá, con 1.485 (17 %), tienen las flotas de buses eléctricos más grandes del mundo fuera de China (Pettigrew et al., 2023).

Figura 5.2: Flota de buses eléctricos en América Latina y el Caribe

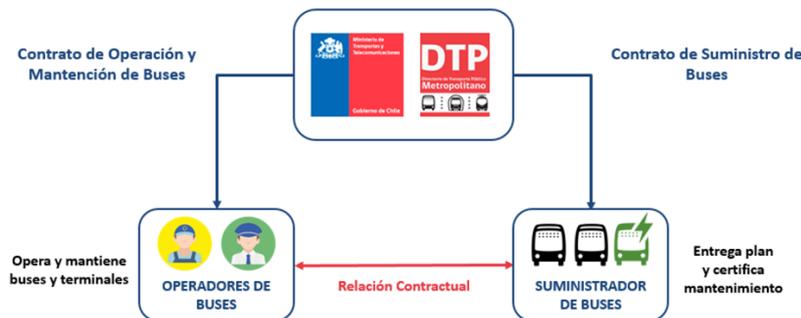


Fuente: E-BUS RADAR (2023)

Las claves del éxito de Santiago y Bogotá radican en tres factores. Primero, en el marco de la implementación de sus sistemas BRT, el transporte público de ambas ciudades fue reestructurado profundamente con el fin de formalizar, reorganizar e integrar los servicios de buses urbanos y, de esta forma, mejorar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios. El SITP en Bogotá (cuyo componente troncal es Transmilenio S.A.), y RED en Santiago (antiguo Transantiago), operan bajo un esquema de Asociación Público Privada (APP) donde empresas privadas adquieren y operan la flota, mientras que las autoridades de transporte regulan y controlan el servicio y, además, proveen la infraestructura del sistema. Si bien este esquema no ha estado exento de problemas en sus etapas de implementación y operación, permitió que las ciudades cuenten con el marco institucional, jurídico y empresarial necesario para emprender la transición tecnológica de la flota.

Segundo, en el marco de las políticas de descarbonización del transporte público implementadas en Colombia y Chile (Beltrán Real, 2021), tanto Bogotá como Santiago adoptaron un nuevo modelo de negocios en el que la operación se separa de la provisión de la flota (Figura 5.3). El modelo tradicional implementado en los BRT asigna demasiado riesgo a los operadores, quienes no tienen la capacidad técnica y financiera para abordar los retos de la adopción de buses eléctricos (C40 et al., 2021). Así, en el nuevo modelo, se crea un nuevo agente dentro del sistema encargado de la adquisición de los buses, lo que permite desagregar las responsabilidades y riesgos asociados a la operación y a la compra de los vehículos, además de aprovechar la experiencia, especialización y capacidad financiera de los operadores, fabricantes de buses y proveedores de energía (Batista and Bastos, 2023).

Figura 5.3: Nuevo modelo de negocio RED (Transantiago)



Fuente: Bases de licitación servicio complementario de suministro de buses

Este esquema ha sido replicado total o parcialmente en ciudades como Medellín, Sao Paulo y México D.F., lo que ha atraído a nuevos inversionistas y fabricantes de buses eléctricos (C40 et al.,

2020; P4G et al., 2020). Además, gracias a la reducción de los riesgos financieros y la disminución de la incertidumbre con respecto a los buses eléctricos, se han abierto las puertas a nuevas oportunidades de financiación, tales como los bancos multilaterales de desarrollo, instituciones financieras de desarrollo, bancos comerciales, emisión de bonos verdes, mecanismos de arrendamiento o leasing, y créditos con los fabricantes (Beltrán Real, 2021; C40 et al., 2021).

Tercero, los análisis financieros realizados en Santiago revelan que la adopción de una flota eléctrica es viable económicamente, a pesar de que los costos de inversión son un 70 % superiores a los de los buses Diésel (Figura 5.4). Los costos totales de la propiedad (TCO, Total Cost of Ownership) de los buses eléctricos (USD \$0,65/km) son un 32 % menores que los de los buses diésel (USD \$0,96/km), mientras que los costos de mantenimiento son un 38 % inferiores.

Figura 5.4: Conclusiones costos totales de la propiedad (TCO, Total Cost of Ownership) en Santiago



Fuente: Becerra and Galarza (2022)

Más allá esto, es importante destacar que, tanto en Santiago como en Bogotá, los sistemas de buses urbanos reciben importantes recursos públicos para subsidiar la compra y operación de los vehículos. En el caso de Bogotá, los recursos públicos cubren un 26 % de los costos del sistema, mientras que en Santiago, los subsidios alcanzan un 51 % (Rivas et al., 2020).

Esto es relevante para la transición hacia buses eléctricos porque el modelo desagregado traslada los riesgos financieros hacia el agente encargado del suministro de la flota y la infraestructura de carga, quien debe hacer grandes inversiones al inicio de la operación. Con el fin de mitigar estos riesgos, el modelo de negocios establece un pago por disponibilidad de la flota, que no depende de los kilómetros recorridos ni de la demanda, y que debe estar respaldado por fuentes de ingresos diferentes a la tarifa. En los dos casos analizados, estos recursos adicionales provienen de subsidios estatales.

5.2. Regulación de servicios de Micromovilidad

La micromovilidad es una opción de transporte accesible, eficiente y baja en emisiones que se ha convertido en una alternativa al uso de automóviles y motocicletas para viajes cortos, y como conexión de primera y última milla con el transporte público (Yanocha and Mackenzie, 2021). A pesar de esto, los servicios de movilidad compartida, basados en scooters eléctricas y bicicletas compartidas sin anclaje, han despertado preocupación entre las autoridades de transporte debido a la sobreoferta de dispositivos haciendo un uso inadecuado del espacio público con el fin de dominar el mercado, posibles impactos ambientales negativos, comportamientos de conducción poco seguros y problemas con el estacionamiento de los vehículos.

En consecuencia, muchos gobiernos han implementado regulaciones fuertes e incluso prohibiciones a este tipo de servicios. Otros, por el contrario, han fomentado los servicios de micromovilidad compartida, ya que les permite incrementar la demanda por infraestructura para ciclistas y, por lo tanto, acelerar los planes para mejorar las redes de ciclo-infraestructura (ITF, 2021a). En definitiva, la regulación de los dispositivos y servicios de micromovilidad sigue siendo un tema de debate entre académicos y tomadores de decisiones.

Este debate no ha sido ajeno en América Latina y el Caribe (ITF, 2021b). Por ejemplo, en Bogotá y Ciudad de México, se han implementado medidas de regulación en cuanto al estacionamiento de bicicletas y scooters compartidos, el número de vehículos en operación, la seguridad vial, entre

otros aspectos (Tabla 5.2). Además, ambas ciudades han establecido un sistema de permisos de operación en el cual las compañías deben pagar una contribución por cada dispositivo. El propósito de estas políticas era ordenar y controlar los servicios compartidos. Sin embargo, estas regulaciones se han convertido en un obstáculo para la operación de dichos servicios. Actualmente, en Bogotá, no existen servicios de micromovilidad, a excepción del sistema de bicicletas públicas recientemente implementado, mientras que en la Ciudad de México, solamente la compañía Dezba operaba legalmente con 900 bicicletas en 2021.

Tabla 5.2: Políticas para servicios de micromovilidad compartida

Tipo de Regulación	Bogotá	Ciudad de México
Restricción al uso de estacionamientos.	Considerar a todo dispositivo con ruedas como un vehículo. Prohibir el estacionamiento en zonas peatones, áreas verdes, vías, carriles para bicicletas y en otros espacio públicos. Los servicio compartidos sólo pueden estacionar en unos pocos espacios designados.	Medidas similares a las de Bogotá, pero, con mayor flexibilidad en cuanto al uso de espacios públicos.
Límites a la oferta de vehículos.	Límites al número de vehículos estacionados en espacio público.	Concesiones periódicas para la operación en un área determinada. Límites al número total de vehículos. Subasta donde las compañías ofrecían una tarifa por vehículo para obtener una cuota de mercado
Seguridad vial	Circulación exclusiva en carriles de bicicletas y en el costado derecho de las calles.	Velocidad Máxima: 20 km/h. Uso obligatorio de casco. Prohibición al uso de celulares. Obligación de agregar elementos reflectantes al vehículo. Prohibición de uso en autopistas y zonas peatonales. Límites al número de vehículos estacionados en espacio público. Póliza de seguro para cubrir daños a terceros en caso de accidentes.
Requerimientos técnicos		Regulación para evitar vehículos de mala calidad.
Datos compartidos		Compartir información en tiempo real.
Contribuciones		Pago de tarifa anual para operar.
Publicidad		Prohibición de publicidad (excepto Ecobici en México).

Fuente: adaptado de ITF (2021b)

Por otro lado, a pesar de que la micromovilidad personal tiene un mayor potencial para reducir las emisiones en comparación con los servicios compartidos, las políticas orientadas a fomentar la adquisición de este tipo de vehículos son escasas. Las bicicletas y scooters eléctricos no disfrutaban de los mismos beneficios fiscales que los autos eléctricos. Tampoco existen metas de ventas para estos vehículos, ni mecanismos que fomenten su uso en flotas institucionales. Además, pocas ciudades cuentan con planes para construir infraestructura para ciclistas y usuarios de scooters, como carriles exclusivos y zonas de estacionamiento, lo que obliga a los viajeros a compartir la calzada con los vehículos motorizados y a estacionar en lugares no permitidos, lo que limita aun más la expansión de este mercado.

Capítulo 6

Oportunidades, Barreras y Recomendaciones

6.1. Transporte Público Urbano

Las condiciones actuales en América Latina y el Caribe dan lugar a varios factores que favorecen la transición hacia buses cero emisiones en el transporte público urbano (Tabla 6.1). Primero, gracias a las bajas tasas de motorización de la región, la mayoría de los viajes se hace en bus, lo que reduce los riesgos de demanda en el corto y mediano plazo en la medida en que la adopción de buses eléctricos no incrementa los costos para los usuarios ni repercute negativamente en la calidad del servicio. Además, 64 ciudades de la región ya cuentan con un sistema de BRT organizado y formal, lo que fortalece tanto la capacidad institucional y técnica de las autoridades de transporte, como la organización empresarial y el músculo financiero de las empresas privadas encargadas de la operación.

Un segundo factor que favorece la electrificación de la flota de buses es que varias ciudades de la región ya han realizado este proceso de manera exitosa. En la actualidad, casi 5.000 buses eléctricos operan en las ciudades de América Latina y el Caribe, lo que ha incrementado sustancialmente la información disponible sobre la operación de estos vehículos. Además, el éxito del modelo desagregado de operación y suministro implementado en Santiago y Bogotá, ha incrementado la oferta de fabricantes, operadores e inversionistas dispuestos a participar en el mercado, así como las oportunidades de financiación en la banca multilateral y comercial.

Sin embargo, aún persisten grandes desafíos y obstáculos para la descarbonización del transporte público en la región (Tabla 6.1). Quizá el más importante, es que en la mayoría de las ciudades el transporte público continúa siendo provisto por empresas privadas sin ningún tipo de regulación y control. Esto repercute negativamente en la capacidad técnica de las instituciones locales, lo que complejiza la coordinación con el gobierno nacional y los otros actores involucrados en la prestación del servicio. Además, la prevalencia del transporte público tradicional dificulta la organización empresarial de los operadores de buses, y genera un ambiente de inercia y resistencia al cambio que obstaculiza la transición hacia buses cero emisiones.

Otra barrera importante para la adopción de flotas eléctricas es la falta de garantías claras sobre los ingresos de los operadores debido a la ausencia de financiación de los sistemas con recursos públicos. Esto es clave en los procesos de electrificación de la flota, debido a los mayores costos de capital en vehículos e infraestructura de carga, lo que aumenta la necesidad de recursos públicos para cubrir los nuevos costos de inversión del sistema.

Finalmente, a pesar de los evidentes avances tecnológicos de la industria, aún persisten barreras técnicas que dificultan la operación de buses eléctricos. Por ejemplo, las tipologías de buses eléctricos siguen siendo limitadas, lo que resta flexibilidad al sistema. Además, las flotas eléctricas dependen fuertemente de la infraestructura de carga en patios y talleres, y son vulnerables ante inestabilidades en la red de electricidad y cambios abruptos en los precios de la energía.

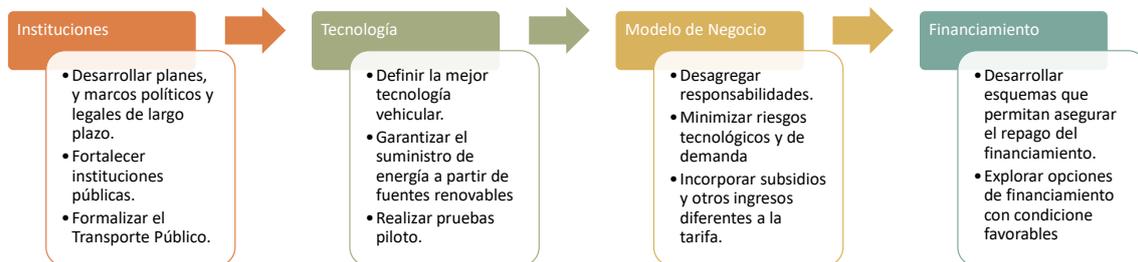
Por lo tanto, resulta evidente que la transición energética en el transporte público no solo plantea retos para los gobiernos de la región, sino también para la industria, la banca y las instancias multilaterales que promueven la movilidad sostenible y la lucha contra el cambio climático. En este contexto, la Figura 6.1 resume las recomendaciones más importantes en los ámbitos institucional, técnico, comercial y de financiación de la adopción de flotas de buses cero emisiones.

Tabla 6.1: Oportunidades y Barreras para la adopción de buses cero emisiones

Categoría	Oportunidad	Barreras
Institucional, legal y normativo	<p>Políticas claras y articuladas que promueven e incentivan la adopción de buses eléctricos en la mayoría de países.</p> <p>Marco legal, capacidad institucional, y articulación con el gobierno nacional en más de 60 ciudades con BRT.</p> <p>Posibilidad de transferencia de conocimientos y experiencias en la adopción de buses eléctricos.</p>	<p>Prevalencia del esquema tradicional de empresas privadas poco reguladas y controladas.</p> <p>Poca capacidad institucional y conocimientos técnicos en ciudades donde persiste el transporte público tradicional.</p> <p>Complejidad en la coordinación de los diferentes actores e instituciones públicas responsables de la renovación de la flota.</p> <p>Falta o insuficiencia de regulación específica para infraestructura de carga, homologación de vehículos y gestión de baterías (algunos países).</p> <p>Contratos vigentes de operación de transporte público con buses de combustión interna.</p> <p>Dificultades para pasar de los proyectos pilotos a las flotas comerciales.</p>
Demanda	<p>Alta utilización de transporte público y baja tasa de motorización que reduce los riesgos de demanda en el corto y mediano plazo.</p>	<p>Competencia con la motocicleta y con modos informales.</p>
Modelo de Negocio	<p>Esquema exitoso de desagregación de suministro y operación de la flota que puede ser adaptado a otras ciudades.</p> <p>Empresas privadas con experiencia en la fabricación, suministro, operación, recarga, y mantenimiento de 5,000 buses eléctricos.</p> <p>Presencia de inversionistas y fabricantes interesados en participar en el mercado gracias a la reducción de la incertidumbre tecnológica y de riesgos financieros.</p> <p>Costos totales de la propiedad 32 % inferiores en comparación con los buses Diesel.</p> <p>Disponibilidad de datos sobre costos de capital y operación de los buses eléctricos</p>	<p>Resistencia al cambio empresarial y a la adopción de nuevas tecnologías por parte de las empresas tradicionales de transporte público</p> <p>Ausencia de subsidios y otras fuentes de ingreso diferentes a la tarifa para garantizar la remuneración y minimizar los riesgos financieros.</p> <p>Mayores costos de capital en la compra de buses e infraestructura de carga</p>
Financiamiento	<p>Nuevas opciones de financiación con banca multilateral, banca comercial y otras instituciones.</p> <p>Oportunidades de financiamiento con fondos asociados al cambio climático, y bonos verdes</p>	<p>Rápida depreciación de los activos tecnológicos, por su constante evolución.</p> <p>Incertidumbre sobre tarifas de energía eléctrica.</p> <p>Mayor necesidad de financiación debido al incremento en los costos de capital.</p> <p>Mayor asignación de riesgos financieros a suministradores de flota y energía.</p>
Técnico y tecnológico	<p>Gran volumen de datos operacionales, de rendimiento, autonomía y potencia de los buses eléctricos provenientes de las pruebas piloto y operaciones vigentes.</p> <p>Metas alcanzables de descarbonización de la generación de electricidad.</p>	<p>Escasa diversidad de tecnologías de buses eléctricos en el mercado, que reduce la flexibilidad operacional de los sistemas de transporte.</p> <p>Falta de puntos de carga por fuera de patios y talleres.</p> <p>Inestabilidad de la red eléctrica para para soportar las necesidades del sistema de buses.</p>

- **Instituciones:** Desarrollar planes estratégicos para reestructurar y formalizar el transporte público, además de adoptar tecnologías de cero emisiones. Estos planes deben incluir instrumentos para fortalecer la capacidad técnica y la coordinación entre instituciones locales y nacionales, y el desarrollo de normativas específicas para la descarbonización de las flotas de transporte público.
- **Tecnología:** Seleccionar la tecnología vehicular que mejor se adapte a las condiciones de cada ciudad. Se recomiendan las tecnologías eléctricas con baterías, siempre que haya metas alcanzables de generación de energía a partir de fuentes renovables y se pueda proporcionar una red de recarga adecuada. En este sentido, se deben llevar a cabo pruebas piloto para generar confianza en la tecnología elegida y evaluar los factores técnicos y los elementos de la estructura de costos que generan incertidumbre y que dependen de las características de las ciudades.
- **Modelo de Negocio:** Desarrollar un modelo de negocio que desagregue las responsabilidades de operación y suministro de la flota, minimizando los riesgos tecnológicos y de demanda. Esto requiere la incorporación de mecanismos de pago basados en la disponibilidad de la flota y la calidad del servicio, respaldados por subsidios públicos y otras fuentes de ingresos distintas de la tarifa.
- **Financiamiento:** Dado que las flotas de cero emisiones requieren mayores costos de capital, se necesitan esquemas que garanticen el repago del financiamiento de los proyectos durante su período de ejecución. El financiamiento de la flota puede provenir de recursos públicos, pero también existen alternativas con condiciones favorables, como los bancos multilaterales de desarrollo, las instituciones financieras de desarrollo, los fondos de cambio climático y los bonos verdes.

Figura 6.1: Recomendaciones para la adopción de flotas cero emisiones en el transporte público



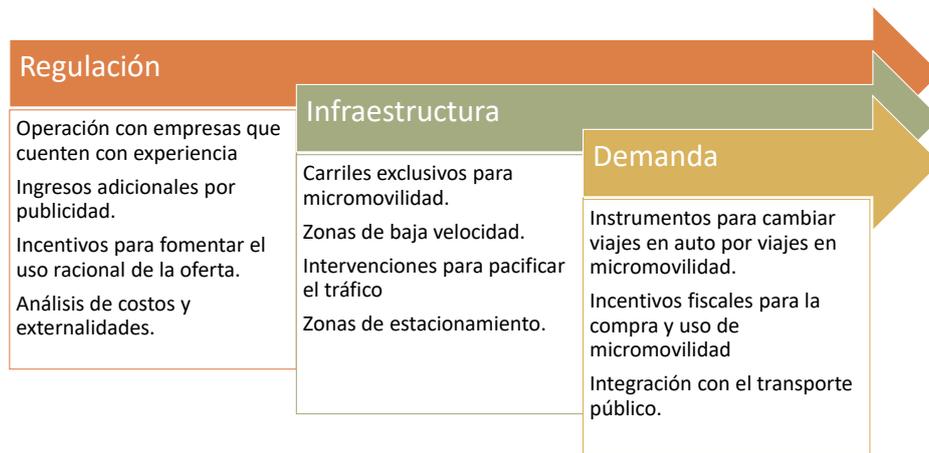
Fuente: adaptado de Beltrán Real (2021); C40 et al. (2021)

6.2. Micromovilidad

Las características de las ciudades de América Latina y el Caribe son ideales para la micromovilidad. Las altas densidades de población, bajas tasas de motorización y una alta utilización del transporte público son todas condiciones que favorables para el uso de bicicletas y scooters que, desafortunadamente, no están siendo aprovechadas por los gobiernos de la región. En este contexto, la Figura 6.2 resume un conjunto de recomendaciones de tipo normativo, físico y económico para fomentar la micromovilidad en la región.

- **Regulación:** claramente, el principal obstáculo para la masificación de los servicios de movilidad compartida ha sido su inadecuada regulación. Medidas como las restricciones al número de vehículos y áreas de operación, así como cobros excesivos por permisos de operación, han obstaculizado la viabilidad de este modelo de negocio al punto de que en la actualidad no existen compañías operando en ciudades como México D.F. y Bogotá. Por lo tanto, se requiere una regulación más flexible, basada en indicadores que reflejen las metas de movilidad sostenible, donde los permisos de operación sean entregados a empresas con experiencia en la

Figura 6.2: Recomendaciones para fomentar la Micromovilidad



Fuente: International Transport Forum (ITF, 2020, 2021a,b)

operación de servicios compartidos. Además, en lugar de limitar la oferta de dispositivos a una zona o número determinado, la nueva regulación debe otorgar incentivos que fomenten un uso racional de la flota en las zonas de alta demanda. Por último, se debe realizar un análisis detallado de los costos y las externalidades generadas por el uso de servicios de micromovilidad para determinar las tarifas pagadas por cada vehículo. Además, en lugar de cobrar una contribución, se debería considerar un subsidio a la operación de estos dispositivos.

- **Infraestructura** un elemento que beneficia tanto al uso personal como compartido de dispositivos de micromovilidad es la construcción de infraestructura exclusiva para estos vehículos. Por supuesto, la construcción de carriles exclusivos es fundamental. Pero, debe complementarse con zonas de baja velocidad o zonas 30 km/h, intervenciones para pacificar el tráfico y la construcción de áreas de estacionamiento exclusivo para dispositivos de micromovilidad.
- **Gestión de la demanda:** se deben implementar instrumentos orientados a cambiar los patrones de comportamiento de los viajeros, en particular, políticas que busquen *cambiar* viajes en automóvil por viajes en dispositivos de micromovilidad. En este sentido, las políticas que buscan desincentivar el uso del automóvil, como impuestos a los combustibles, tarificación vial y regulación de estacionamientos, deben complementarse con instrumentos económicos similares a los usados para fomentar la compra de autos eléctricos, como incentivos fiscales, reducción de aranceles y fomento a la industria local de vehículos de micromovilidad. Además, se debe fomentar la integración física, operacional y tarifaria de los servicios compartidos y dispositivos personales de micromovilidad con el transporte público. Medidas como la construcción de zonas de estacionamiento en estaciones y paraderos, la integración tarifaria mediante pago electrónico, y la posibilidad de abordar con bicicletas y scooters a los buses y trenes de los sistemas de transporte público, son fundamentales para fomentar la complementariedad del transporte público con los dispositivos de micromovilidad.

Bibliografía

- Batista, M., Bastos, P., 2023. El modelo de negocio de Bogotá para la implementación de buses eléctricos. Technical Report. URL: <https://transformative-mobility.org/multimedia/el-modelo-de-negocio-de-bogota-para-la-implementacion-de-buses-electricos/>.
- Becerra, L., Galarza, S., 2022. Costo total de propiedad: Buses eléctricos en el nuevo modelo de negocios del transporte público de Santiago de Chile. Technical Report. URL: <https://theicct.org/publication/costo-total-de-propiedad-buses-electricos-en-el-nuevo-modelo-de-negocios-del-transporte-publico-de-santiago-de-chile/>.
- Beltrán Real, O.M., 2021. Lecciones aprendidas en la implementación de modelos de negocio para la masificación de buses eléctricos en Latinoamérica y el Caribe. Technical Report. Inter-American Development Bank. URL: <https://publications.iadb.org/es/node/31101>, doi:doi:10.18235/0003734.
- Bocarejo, J.P., Urrego, L.F., 2022. The impacts of formalization and integration of public transport in social equity: The case of bogota. Research in Transportation Business & Management 42, 100560. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210539520300754>, doi:doi:10.1016/j.rtbm.2020.100560.
- Brand, C., Dons, E., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., Clark, A., de Nazelle, A., Gascon, M., Gaupp-Berghausen, M., Gerike, R., Götschi, T., Iacorossi, F., Kahlmeier, S., Laeremans, M., Nieuwenhuijsen, M.J., Orjuela, J.P., Racioppi, F., Raser, E., Rojas-Rueda, D., Standaert, A., Stigell, E., Sulikova, S., Wegener, S., Panis, L.I., 2021. The climate change mitigation effects of daily active travel in cities. Transportation Research Part D: Transport and Environment 93, 102764. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920921000687>, doi:doi:10.1016/j.trd.2021.102764.
- BRTData, 2023. Global BRTData. URL: <https://brtdata.org/>.
- Buberger, J., Kersten, A., Kuder, M., Eckerle, R., Weyh, T., Thiringer, T., 2022. Total co2-equivalent life-cycle emissions from commercially available passenger cars. Renewable and Sustainable Energy Reviews 159, 112158. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032122000867>, doi:doi:10.1016/j.rser.2022.112158.
- C40, GIZ, ICLEI, TUMI, UITP, Environment, U., Euroclima, 2021. The Playbook for Zero Emissions Mobility LAC. Technical Report. URL: <https://changing-transport.org/publications/the-playbook-for-zero-emissions-mobility-lac/>.
- C40, ICCT, Dalberg, P4G, 2020. Investing in electric bus deployment in Latin America. Technical Report. URL: <https://theicct.org/publication/investing-in-electric-bus-deployment-in-latin-america/>.
- CAF, 2016. Observatorio de movilidad urbana. URL: <https://www.caf.com/es/conocimiento/datos/observatorio-de-movilidad-urbana/>.
- Carbon footprint, 2023. Country specific electricity grid greenhouse gas emission factors. URL: https://www.carbonfootprint.com/docs/2023_02_emissions_factors_sources_for_2022_electricity_v10.pdf.
- Cazzola, P., Santos Alfageme, M., 2023. Facilitating a Transition to Zero-emission Vehicles in the Global South URL: <https://escholarship.org/uc/item/6766234x>, doi:doi:10.7922/G2PK0DGM.

- Correa, G., Muñoz, P., Rodríguez, C., 2019. A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus. *Energy* 187, 115906. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544219315841>, doi:doi:10.1016/j.energy.2019.115906.
- Creutzig, F., Roy, J., Lamb, W.F., Azevedo, I.M.L., de Bruin, W.B., Dalkmann, H., Edelenbosch, O.Y., Geels, F.W., Grubler, A., Hepburn, C., Hertwich, E.G., Khosla, R., Mattauch, L., Minx, J.C., Ramakrishnan, A., Rao, N.D., Steinberger, J.K., Tavoni, M., Ürges Vorsatz, D., Weber, E.U., 2018. Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nature Climate Change* 8, 260–263. URL: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0121-1>, doi:doi:10.1038/s41558-018-0121-1.
- Cunha Linke, C., Maciente Rocha, J.P., Alcalá, A., Palacios, A., Suárez, M., Gómez, M., Ruíz González, P., Pardo, C., 2018. Transporte y desarrollo en América Latina. N° 2 URL: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1348>. accepted: 2018-12-07T23:21:12Z Publisher: Despacio.org: Camilo Urbano, Laura Iguavita, Marina Moscoso, Lina Quiñones Diseño Gráfico.
- E-BUS RADAR, 2023. E-BUS RADAR. URL: <https://www.ebusradar.org/es/>.
- Estupiñán, N., Scordia, H., Navas, C., Zegras, C., Rodríguez, D., Vergel Tovar, E., Gakenheimer, R., Azán Otero, S., Vasconcellos, E., 2018. Transporte y Desarrollo en América Latina URL: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1186>. accepted: 2018-05-17T19:44:13Z Publisher: CAF.
- Ferrario, F.M., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Vullo, E.L., Solazzo, E., Olivier, J., Vignati, E., 2021. EDGAR v6.0 Greenhouse Gas Emissions URL: <http://data.eurpa.eu/89h/97a67d67-c62e-4826-b873-9d972c4f670b>. publisher: European Commission, Joint Research Centre (JRC).
- Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Dahl Öberg, J., Vehabovic, A., 2021. Well-to-wheel greenhouse gas emissions of heavy-duty transports: Influence of electricity carbon intensity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 93, 102757. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920921000614>, doi:doi:10.1016/j.trd.2021.102757. publisher: Elsevier Ltd.
- Hollingsworth, J., Copeland, B., Johnson, J.X., 2019. Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environmental Research Letters* 14, 084031. URL: <https://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ab2da8>, doi:doi:10.1088/1748-9326/ab2da8. publisher: IOP Publishing.
- IPCC, 2022. Demand, Services and Social Aspects of Mitigation, in: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, pp. 503–612. URL: <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2022-mitigation-of-climate-change/demand-services-and-social-aspects-of-mitigation/1BD7EA861A2D08E981CA707CDCD22E5>, doi:doi:10.1017/9781009157926.007.
- IPCC, 2022a. Energy Systems, in: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1 ed.. Cambridge University Press, pp. 613–746. URL: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157926%23c6/type/book_part, doi:doi:10.1017/9781009157926.008.
- IPCC, 2022b. Transport, in: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1 ed.. Cambridge University Press, pp. 1049–1160. URL: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157926%23c10/type/book_part, doi:doi:10.1017/9781009157926.012.
- IPCC, 2022c. Urban Systems and Other Settlements, in: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 1 ed.. Cambridge University Press, pp. 861–952. URL: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157926%23c8/type/book_part, doi:doi:10.1017/9781009157926.010.

- IPCC, 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Report. IPCC. Geneva, Switzerland. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf.
- ITF, 2020. Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility. Technical Report. OECD. Paris. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/transport/good-to-go-assessing-the-environmental-performance-of-new-mobility_f5cd236b-en, doi:doi:10.1787/f5cd236b-en.
- ITF, 2021a. Micromobility, Equity and Sustainability: Summary and Conclusions, in: ITF Roundtable Reports. OECD Publishing, Paris. 185. URL: <https://www.itf-oecd.org/micromobility-equity-sustainability>.
- ITF, 2021b. Micromobility Policies for Sustainable Transport: Bogotá and Mexico City. Technical Report. OECD. Paris. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/transport/micromobility-policies-for-sustainable-transport_f9aldab9-en, doi:doi:10.1787/f9aldab9-en.
- Kohli, S., Khan, T., Yang, Z., Miller, J., 2022. Zero-emission vehicle deployment: Latin America. LATIN AMERICA URL: <https://theicct.org/publication/hvs-zev-deploy-latam-apr22/>.
- Liao, F., Correia, G., 2022. Electric carsharing and micromobility: A literature review on their usage pattern, demand, and potential impacts. International Journal of Sustainable Transportation 16, 269–286. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15568318.2020.1861394>, doi:doi:10.1080/15568318.2020.1861394.
- Minx, J.C., Lamb, W.F., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Crippa, M., Döbbling, N., Forster, P.M., Guizzardi, D., Olivier, J., Peters, G.P., Pongratz, J., Reisinger, A., Rigby, M., Saunio, M., Smith, S.J., Solazzo, E., Tian, H., 2021. A comprehensive and synthetic dataset for global, regional, and national greenhouse gas emissions by sector 1970–2018 with an extension to 2019. Earth System Science Data 13, 5213–5252. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/13/5213/2021/>, doi:doi:10.5194/essd-13-5213-2021. publisher: Copernicus GmbH.
- Moscoso, M., van Laake, T., Quiñonez, L., 2019. Sustainable urban transport in latin america assessment and recommendations for mobility policies. URL: <https://sutp.org/publications/sustainable-urban-mobility-in-latin-america-assessment-and-recommendations-for-mobility-policies/>.
- Navas, C., Bueno, C., Mix, R., 2021. La electromovilidad como estrategia para una nueva política de transporte público: el caso de santiago de chile. URL: <https://publications.iadb.org/es/node/31086>, doi:doi:10.18235/0003728.
- Nordelöf, A., Romare, M., Tivander, J., 2019. Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel. Transportation Research Part D: Transport and Environment 75, 211–222. doi:doi:10.1016/j.trd.2019.08.019.
- OMU, 2023. Indicadores – OMU – Observatorio Movilidad Urbana. URL: <https://omu-latam.org/indicadores/>.
- P4G, Zebra, Dalberg, 2020. Accelerating a market transition in Latin America: New business models for electric bus deployment. Technical Report. URL: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Accelerating-a-market-transition-in-Latin-America-New-business-models-for-electric-bus-deployment?language=en_US.
- Papaioannou, D., Windisch, E., 2022. Decarbonising Transport in Latin American Cities: Assessing Scenarios to 2050 URL: <https://publications.iadb.org/en/decarbonising-transport-latin-american-cities-assessing-scenarios-2050>, doi:doi:10.18235/0003976. publisher: Inter-American Development Bank.
- Pettigrew, S., Acevedo, H., Delgado, O., 2023. Infraestructura de recarga para buses cero emisiones — Estrategias de Bogotá, Colombia URL: <https://theicct.org/publication/heavyduty-colombia-bus-apr23/>.

- Rivas, M.E., Brichetti, J.P., Serebrisky, T., 2020. Operating Subsidies in Urban Public Transit in Latin America: A Quick View. Technical Report. Inter-American Development Bank. doi:doi:10.18235/0002911. publication Title: Operating Subsidies in Urban Public Transit in Latin America: A Quick View.
- Rodríguez, D.A., Pardo, C.F., Santana, M., 2015. La motocicleta en América Latina caracterización de su uso e impactos en la movilidad en cinco ciudades de la región. URL: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/754>.
- Rojas, N.Y., Mangones, S.C., Osses, M., Granier, C., Laengle, I., A., J.V.A., Mendez, J.A., 2023. Road transport exhaust emissions in colombia. 1990–2020 trends and spatial disaggregation. Transportation Research Part D: Transport and Environment 121, 103780. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920923001773>, doi:doi:10.1016/j.trd.2023.103780.
- Sandt, L., 2019. The Basics of Micromobility and Related Motorized Devices for Personal Transport URL: <https://trid.trb.org/view/1663933>.
- Schröder, D., Kirn, L., Kinigadner, J., Loder, A., Blum, P., Xu, Y., Lienkamp, M., 2023. Ending the myth of mobility at zero costs: An external cost analysis. Research in Transportation Economics 97, 101246. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0739885922000713>, doi:doi:10.1016/j.retrec.2022.101246. publisher: Emerald Publishing.
- Sustainable Mobility for All, 2021. Sustainable electric mobility: Building blocks and policy recommendations. URL: <http://www.sum4all.org>.
- TUMI, 2023. Multimedia Library. URL: <https://transformative-mobility.org/knowledge-hub/multimedia-library/>.
- United Nations, 2018. World urbanization prospects - population division. URL: <https://population.un.org/wup/>.
- WHO, 2021. Who's global air quality guidelines. Lancet 368, 1302. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.
- WHO, 2023. Who ambient air quality database. URL: [https://www.who.int/publications/m/item/who-ambient-air-quality-database-\(update-2023\)](https://www.who.int/publications/m/item/who-ambient-air-quality-database-(update-2023)).
- World Bank, 2014. Co2 emissions from transport. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.CO2.TRAN.ZS>.
- Yanocha, D., Mackenzie, A., 2021. Maximizing Micromobility - Institute for Transportation and Development Policy. Technical Report. URL: <https://www.itdp.org/publication/maximizing-micromobility/>.