



Policy Paper N°26

**Transporte de carga y  
transporte interurbano  
de pasajeros en  
América Latina y el  
Caribe**



1 DE OCTUBRE DE 2023

# Transporte de Carga y Transporte interurbano de Pasajeros en LAC

Informe Final

VICTOR CANTILLO

## Contenido

1. Introducción.....	1
2. Transporte de carga y pasajeros interurbano en ALC .....	2
2.1. Transporte de carga .....	2
2.2. Transporte de pasajeros .....	5
3. Emisiones industria de transporte de carga e interurbano.....	7
3.1. Comparación tecnologías vehiculares .....	7
3.1.1. Tecnologías vehiculares para transporte de carga y pasajeros.....	8
3.1.2. Comparación de emisiones de tecnologías vehiculares transporte interurbano de carga y pasajeros.....	10
3.1.3. Precios de venta .....	13
3.2. Emisiones en LAC .....	14
4. Estado transición energética en ALC .....	17
5. Políticas implementadas en ALC .....	19
5.1. Caso de estudio.....	1
5.1.1. Chile .....	2
5.1.2. Colombia.....	3
5.2. Consideraciones fiscales .....	5
6. Desafíos y oportunidades.....	7
6.1. Desafíos.....	7
6.2. Oportunidades .....	8
7. recomendaciones de políticas públicas.....	9
8. Referencias.....	11

## Listado de Figuras

Figura 1. Km-vehículo de transporte automotor de carga en América Latina.....	2
Figura 2 Edad media del transporte de carga en América Latina.....	4
Figura 3 Red primaria en mal estado en ALC .....	4
Figura 4 Porcentaje de carreteras pavimentadas de primer orden o nacional.....	5
Figura 5 Topología de transmisión de posibles vías de electrificación para HDT .....	9
Figura 6 . Emisiones de GEI durante el ciclo de vida de un remolque de 40 toneladas en los escenarios de 2021 y 2030 .....	11
Figura 7 . Emisiones de CO <sub>2</sub> -eq por CO <sub>2</sub> -eq en la generación generado.....	12
Figura 8 . Emisiones de gases de efecto invernadero por ciclo de vida .....	12
Figura 9 Predicción de la evolución de los precios de diferentes tecnologías .....	13
Figura 10 Emisiones relacionadas con el sector Transporte. Toneladas de emisiones de CO <sub>2</sub> per cápita de 2000 a 2014.....	15

Figura 11 Factor de emisión CO <sub>2</sub> /kWh (Generación + Transmisión y Distribución) .....	16
Figura 12 Combustible utilizados por el sector transporte en ALC.....	18
Figura 13 Precios del diésel en ALC .....	1
Figura 14 Metas de ventas de vehículos de cero emisiones en Chile, a través de su Estrategia Nacional de Electromovilidad.....	2
Figura 15 Comparación emisiones totales entre tecnologías. ....	4
Figura 16 Comparación costo energético.....	4
Figura 17 Comparación tasa de emisión.....	5

## Listado de Tablas

Tabla 2-1 Partición modal de carga en países de ALC.....	2
Tabla 2-2 Empresas y vehículos de carga en países de ALC.....	3
Tabla 2-3 Empresas y vehículos de transporte interurbano de pasajeros en países de ALC .....	6
Tabla 3-1. Ventajas y desventajas entre las tecnologías vehiculares .....	9
Tabla 3-2 Rango de aplicación de tecnologías .....	13
Tabla 3-3. Predicción de la evolución de los precios de diferentes tecnologías. precio minorista sugerido por el fabricante (US \$).....	14
Tabla 5-1. Políticas implementadas en LAC .....	1
Tabla 5-2 Países en América Latina con estándares de eficiencia energética y metas de 100 % cero emisiones .....	1

# 1. Introducción

El sector del transporte se encuentra en el centro de las economías de América Latina y el Caribe (ALC), pero también es responsable del 34% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la región (World Resources Institute, 2019) . Una proporción importante de estas emisiones proviene del transporte por carretera, de carga y pasajeros, a escala interurbana. Actualmente, camiones y buses, en una abrumadora proporción (más del 90% en todos los países de la región), utilizan combustible fósil, principalmente diésel. Según IEA (2019), el consumo de energía y las emisiones de CO2 generadas por camiones y buses ha sostenido un incremento del 2.2% anual. En ALC el 88% de los vehículos para el transporte de carga y pasajeros utilizan petróleo y sus derivados (diésel y gasolina), el 3% gas natural, el 9% biocombustible y residuos, y menos del 1% son eléctricos (UPME 25, 2019; IEA, 2023)

Bajo estas consideraciones, la construcción de una agenda orientada a la descarbonización en ALC debe necesariamente considerar el sector transporte. Ello implica trazar políticas que favorezcan la adopción de nuevas tecnologías para la propulsión de los equipos que consideren las particularidades de la región y las barreras existentes.

La transición energética, en línea con los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) en el sector transporte, debe enmarcarse en una visión más amplia de la movilidad que priorice la eficiencia en el uso de los recursos y la sostenibilidad ambiental. En particular, la descarbonización se refiere a la reducción de la cantidad de carbono emitida en la economía, en este caso, en el sector del transporte automotor de carga y pasajeros a escala interurbana. Esto, con el fin último de suprimir las emisiones de las actividades del sector, incluido la eliminación del uso de combustibles fósiles. En el caso de los vehículos utilizado para los servicios de transporte de carga y de pasajeros a escala intermunicipal, los avances son más limitados que los logrados para los automóviles para transporte individual de pasajeros y los desafíos, tanto tecnológicos como en la implementación de políticas, más complejos.

En el marco del proyecto RED 2024 de la CAF, este trabajo pretende estudiar las principales desafíos y oportunidades para la transición energética del transporte interurbano de carga y pasajeros interurbano en América Latina y el Caribe. Partiendo de un diagnóstico sobre el estado actual del transporte de carga y pasajeros, el análisis hace énfasis en las políticas públicas dirigidas a incentivar la transición energética en el transporte interurbano, con una perspectiva multimodal bajo las premisas de eficiencia y sostenibilidad, teniendo en consideración las características socioeconómicas, políticas y culturales de la región, al igual que las opciones tecnológicas existentes y proyectadas a corto, mediano y largo plazo.

Se estudiarán los desafíos que la transición energética supone para el sector de transporte de carga y de pasajeros de media y larga distancia, así como las políticas públicas dirigidas a este sector en el contexto de una transición energética justa. Aunque el foco del análisis es sobre América Latina y el Caribe, se consideran algunos casos de éxito de políticas de otros países como *benchmark*.

## 2. Transporte de carga y pasajeros interurbano en ALC

En este capítulo se describe el estado actual de los sistemas de transporte de carga y de pasajeros por carretera en ALC.

### 2.1. Transporte de carga

En ALC, más del 85% del movimiento doméstico de carga (por peso) se realiza por carretera, siendo el modo predominante para el transporte de bienes, tal como se indica en la Tabla 2-1. 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 (ver Figura 1)(Barbero et al.,2020; Calatayud y Montes, 2021).

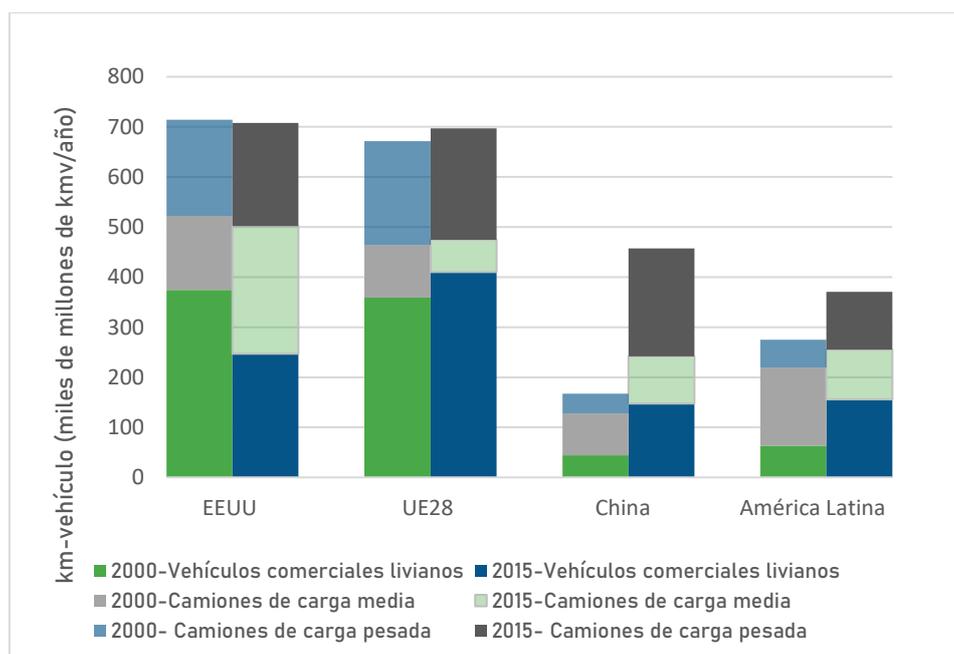
**Tabla 2-1** Partición modal de carga en países de ALC

País	Carretera	Ferrocarril	Agua	Otro
Argentina	93%	4%	3%	
Brasil	60%	21%	14%	4%
Chile	95%	4%	1%	
Colombia*	81%	16%	3%	
México	56%	13%	31%	
Perú	99%	1%		
Uruguay	97%	3%		

Fuente: (Barbero et al., 2020 y anuarios estadísticos del transporte)

En referencia a la eficiencia de las operaciones logísticas, ALC recibe una calificación de 2,59 sobre un máximo de 5 puntos en la dimensión de competencias logísticas, incluyendo la calidad del transporte automotor de carga, lo que significa un rezago respecto a economías más avanzadas. Un aspecto relevante es la alta proporción de recorridos en vacío, que se encuentran en valores cercanos al 40%, contrastando con valores del orden del 25% en Norte América. Ello se debe principalmente a estructuras no simétricas de la matriz origen-destino de viajes de carga y a ineficiencias logísticas.

**Figura 1.** Km-vehículo de transporte automotor de carga en América Latina.



Fuente: (Calatayud A. & Monte L., 2021)

La organización empresarial del transporte automotor de carga es diversa. Abarca desde microempresarios donde el dueño del vehículo es el operador hasta grandes operadores logísticos. No obstante, la estructura de propiedad del parque automotor del transporte de carga en América Latina se caracteriza por la predominancia de pequeños propietarios, siendo muy atomizada. En Colombia, por ejemplo, hay 1.58 vehículos por propietario, notando que el 96.5% de los propietarios poseen entre 1 y 3 vehículos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2000). En Argentina el 94.8% de las empresas tiene menos de 10 camiones. En Perú el 89% de las empresas de carga tiene entre 1 y 4 vehículos. En México el 81% de los operadores corresponde al “hombre camión”. En Uruguay el 94.1% de las empresas tienen 10 camiones o menos (Barbero et al., 2020).

Estas estructuras empresariales no son muy diferentes a los Estados Unidos, donde 95.8% de los transportadores opera 10 camiones o menos (American Trucking Association, 2023). En síntesis, la oferta de transporte automotor de carga evidencia una elevada atomización, con alta proporción de propietarios individuales. La Tabla 2-2 presenta información sobre la flota de camiones y el número de empresas de transporte de carga constituidas en algunos países de ALC.

**Tabla 2-2** Empresas y vehículos de carga en países de ALC

País	Número de empresas (miles)	Vehículos de carga (miles)
Argentina		646 <sup>1</sup>
Brasil	291.1 <sup>2</sup>	1601.8 <sup>2</sup>
Colombia		
Chile	17.990 <sup>3</sup>	217.173 <sup>3</sup>
Ecuador		2311.96 <sup>4</sup>
México	218.532 <sup>5</sup>	632.252 <sup>5</sup>
Panamá		178.630 <sup>6</sup>
Paraguay	0.0131 <sup>7</sup> (empresas reguladoras)	85.239 <sup>7</sup> (no se identifica si es todo de carga)
Perú	125.530 <sup>8</sup>	352
Uruguay	37.5 <sup>9</sup>	37.5 (2022) <sup>9</sup>

1 Secretaría de Planificación de Transporte. (2020). 2 Barbero, J. A., Fiadone, R., & Millán Placci, M. F. (2020). 3 Instituto Nacional de Estadísticas. Chile (2018). 4 INEC (2023). 5 Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Estadística. (2022). 6 Instituto Nacional de Estadística y Censo - Panamá (2020). 7 Dirección Nacional de Transporte (2022) 8 MTC - OGPP - Oficina de Estadística (2022). 9 Ministerio de transporte y de obras públicas (2023).

Sobre la estructura del sector del transporte de carga, la mayoría de los generadores y atractores de carga participan en el mercado de transporte. Muy pocos de ellos tienen camiones propios para sus operaciones logísticas. A su vez, la mayor parte de los transportadores y propietarios compiten en el mercado de transporte, en lugar de prestar servicios a una única empresa. De igual manera, se destaca que hay grandes diferencias entre los transportistas, notándose mayores niveles de utilización de tecnología en las empresas de mayor tamaño. La política pública orientada a renovar la flota y avanzar en la agenda de descarbonización del transporte de carga debe considerar la naturaleza atomizada de la propiedad y las relaciones entre transportistas y generadores de la carga.

Por otra parte, la edad promedio de la flota es en la región es de 16 años, 5 años superior a Estados Unidos y la Unión Europea (ver Figura 2). En algunos casos, como Colombia y República Dominicana, la edad promedio de los camiones supera 20 años (Barbero, 2020). Ello plantea un reto relacionado con la renovación de la flota, dado que gran parte de los vehículos son altamente contaminantes.

**Figura 2** Edad media del transporte de carga en América Latina.



\*\*El año de la data varía entre 2012 y 2019.

Fuente: Adaptado de (Calatayud A. & Monte L., 2021)

Hay grandes diferencias en la edad de la flota y la adopción de nuevas tecnologías según el tipo de empresa. Los agentes logísticos más grandes operan flotas más recientes y han incorporado tecnologías de la información para la gestión y control de la operación, logrando mayores eficiencias que los pequeños propietarios (Barbero et al., 2020; Calatayud y Montes, 2021). Entretanto, los pequeños propietarios suelen operar vehículos más viejos, teniendo pocas posibilidades de adoptar innovaciones tecnológicas. En un mercado fuertemente atomizado la tarificación suele ocurrir a costo marginal, por lo cual difícilmente los transportadores pueden recuperar los costos de depreciación que les permiten renovar la flota.

La red vial en la región presenta baja cobertura, calidad, capacidad y conectividad, tanto en caminos rurales como a vías interurbanas y urbanas. Puede notarse en la Figura 3, que en la región en promedio cerca del 20% de la red vial primaria pavimentada está en mal estado, aunque hay sustanciales diferencias entre los países; más aún, gran parte de los países no tienen toda la red de primer orden pavimentada (Figura 4). Además, los países de LAC presentan un alto riesgo en la vulnerabilidad de la infraestructura vial carretera a los efectos del cambio climático (Calatayud y Monte, 2021).

**Figura 3** Red primaria en mal estado en ALC

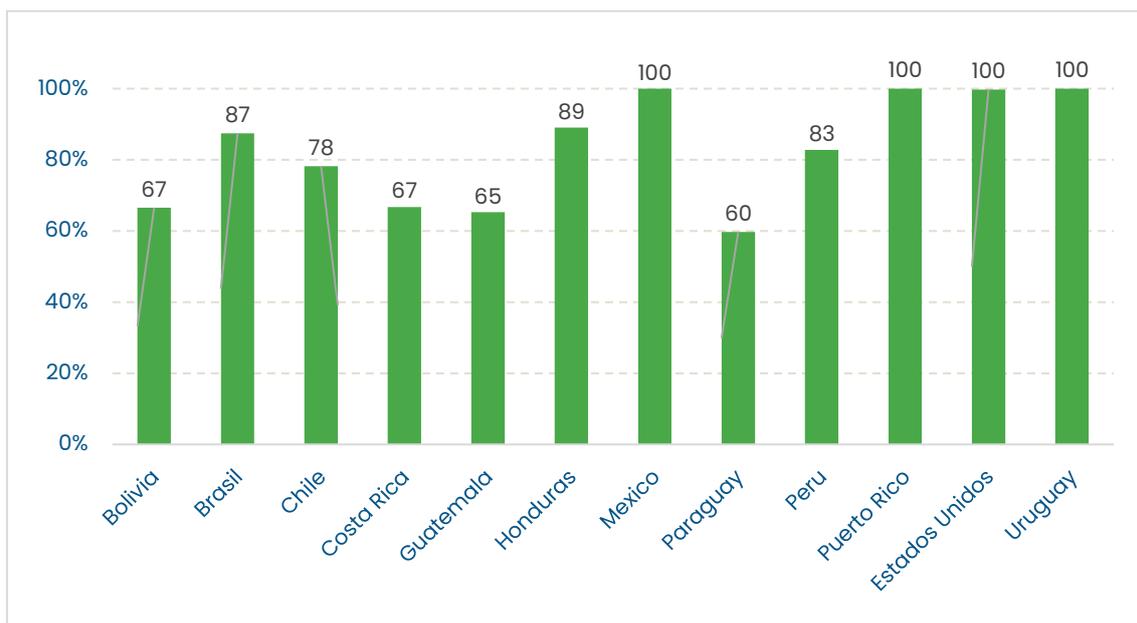


Nota: Chile, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Perú y Honduras: red primaria pavimentada; Guatemala y Nicaragua: red total pavimentada; Brasil: red federal y principal estatal pavimentada; Colombia: red primaria pavimentada no concesionada; Panamá: red interurbana pavimentada; México y Haití: red primaria pavimentada y no pavimentada; Surinam: red total pavimentada a cargo de la Autoridad de Caminos (Road Authority). Elaboración propia basada en bases de datos del sector Transporte del BID.

Fuente: (Pastor, 2020)

Las condiciones de la infraestructura vial están directamente relacionadas con el consumo energético, dado que el consumo de combustible y las emisiones emitidas pueden podrían aumentar incluso más del doble en comparación con carreteras en buenas condiciones (Osorio-Tejada et al., 2018).

Figura 4 Porcentaje de carreteras pavimentadas de primer orden o nacional



Fuente: Elaborado con datos de IRF (2020)

## 2.2. Transporte de pasajeros

El transporte de pasajeros por carretera tiene un papel relevante, especialmente en los viajes de media distancia. No obstante, en los viajes de larga distancia compite con el transporte aéreo. El ferrocarril en América Latina es poco empleado para el transporte de pasajeros a escala interurbana. Solo en algunos países como Chile, México, Brasil y Argentina existe una oferta, en ciertos corredores, de servicios ferroviarios de mediana distancia.

En Colombia, el transporte interurbano por buses representa cerca del 80% de todos los viajes interurbanos (Ministerio de Transporte, 2022). Similar al transporte carga, hay un predominio del combustible diésel, que junto con la gasolina representan el 94% de la oferta. El 6% son vehículos a gas. Menos del 0.3% de los vehículos son híbridos o eléctricos. La edad promedio del parque automotor de buses interurbanos es de 12 años, aunque hay diferencias sustanciales entre las empresas. En Chile, la edad promedio del parque de buses que prestan servicio de transporte interurbano de pasajeros por carretera es de 7 años (Ministerio de Transporte de Chile, 2023). La Tabla 2-3 describe para algunos países la flota de vehículos de pasajeros que prestan servicio interurbano, los pasajeros movilizados y la edad promedio de los vehículos.

**Tabla 2-3** Empresas y vehículos de transporte interurbano de pasajeros en países de ALC

País	Vehículos de pasajeros interurbanos (miles)	Pasajeros movilizados interurbano (millones)	Edad Promedio (años)
Argentina	9 <sup>1</sup>	70 <sup>1</sup>	6 <sup>1</sup>
Bolivia		27.347 <sup>2</sup>	
Brasil	9.670 (empresas: 6085) <sup>3</sup>	21.131 <sup>3</sup>	6.73 <sup>3</sup>
Chile	4.173 <sup>4</sup>		7.329 <sup>4</sup>
Colombia	1.968 <sup>5</sup>	136.18 <sup>5</sup>	9
México	70 <sup>6</sup>	1867 <sup>6</sup>	6 <sup>6</sup>
Panamá	(empresas 108)		
Perú	5.780 <sup>8</sup>	75.660 <sup>8</sup>	7.035 <sup>8</sup>
Uruguay		42. <sup>9</sup>	

1 Ministerio de Transporte Argentina (2019). 2 Instituto Nacional de Estadística (2023). 3 Agencia Nacional De Transportes Terrestres (2022) 4 Instituto Nacional de Estadísticas. Chile (2018).8 MTC - OGPP - Oficina de Estadística (2022) 5 Ministerio de Transporte (2022 6 Secretaria de Infraestructura, comunicaciones y Transportes. (2022).9 Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2022).

La estructura empresarial del transporte interurbano de buses es diversa. Al igual que el transporte camionero, la propiedad de los vehículos está atomizada; no obstante, los buses están afiliados a una única empresa transportadora. También hay casos, en la cual las compañías tienen estructuras empresariales modernas, de manera que la propiedad está representada en la composición accionaria del capital y no en la propiedad individual de los vehículos.

### 3. Emisiones industria de transporte de carga e interurbano

Las emisiones del transporte de carga contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación del aire. De acuerdo con Winebrake et al. (2008) las emisiones asociadas al transporte de mercancías incluyen no solo CO<sub>2</sub> sino también otros contaminantes como las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM. Según Facanha & Horvath (2007), los camiones pesados, el ferrocarril y el transporte acuático representan aproximadamente el 50 % de las emisiones recientes de NO<sub>x</sub> y casi el 40 % de las emisiones de PM de todas las fuentes móviles. Es importante tener en cuenta que las emisiones totales del ciclo de vida de los modos de transporte de carga a menudo se subestiman si solo se consideran las emisiones del tubo de escape. Los estudios han demostrado que las emisiones del tubo de escape subestiman las emisiones totales hasta en un 38% para CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, y las emisiones totales del ciclo de vida de CO y SO<sub>2</sub> pueden ser hasta siete veces más altas que las emisiones del tubo de escape (Facanha & Horvath, 2007).

El sector del transporte destaca por producir emisiones significativas en comparación con el reducido porcentaje de vehículos que lo conforman, representando solo el 4 % de los vehículos en circulación. Esta tendencia se acentúa aún más en camiones con una capacidad de carga superior a 3,5 toneladas. En 2018, entre autobuses y camiones livianos, medianos y pesados, estos dos últimos (>3,5 toneladas de carga) conformaron el 30 % del total de unidades a nivel mundial, pero contribuyeron al 62 % de las emisiones. Por lo tanto, este grupo reducido es responsable de la mayor parte de las emisiones en el sector ( IEA International Energy Agency, 2020a , IEA International Energy Agency, 2017 , Shell, 2021 ).

La preocupación mundial por el impacto negativo de las emisiones de gases de efecto invernadero también se da tanto en América Latina. En ALC, el sector transporte también es el mayor responsable de las emisiones de CO<sub>2</sub> (IEA, 2019 ).El impacto de las emisiones del transporte de mercancías en el medio ambiente y la salud pública es significativo. El sector del transporte, incluido el transporte de mercancías, es responsable de una parte considerable de las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> a nivel mundial. En la Unión Europea, el transporte en general es responsable del 14 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> y es uno de los principales contribuyentes a las emisiones generales de NO<sub>x</sub> (Deschle et al., 2021). Las emisiones del transporte por carretera y ferrocarril en conjunto representan una parte significativa de las emisiones totales de NO<sub>x</sub> en los Estados Unidos (Deschle et al., 2021). Por su parte, el Consejo Internacional de Transporte Limpio (2017) ha proyectado un aumento del 75% en las emisiones de CO<sub>2</sub> en la región entre 2010 y 2030 (con excepción de Brasil). (Tanco et al., 2019)

Algunos estudios, pronostican el consumo de energía y producción de emisiones basados en las condiciones de operación actual y bajo ciertos escenarios de implementación de políticas y medidas para reducir las emisiones del sector de transporte. Para el sector de transporte de carga en el caso colombiano, se encontró que específicamente, el consumo de diésel en carreteras montañosas fue de 45 L/100 km, en comparación con promedios entre 22-26 L/100 km de factores genéricos de fuentes europeas.

La función de logística y transporte en las organizaciones juega un papel importante en la implementación de medidas para reducir las emisiones del transporte de carga (Ellram et al., 2022), por ello se necesita una acción urgente para mejorar el desempeño ambiental del transporte por carretera y promover prácticas logísticas sostenibles (Deschle et al., 2021).

#### 3.1. Comparación tecnologías vehiculares

Las tecnologías emergentes en la transición energética del sector transporte engloban biocombustibles, gas natural, biogás, vehículos híbridos, eléctricos e impulsados por hidrógeno (Barbero, José A.; Guerrero, Pablo 2017).

El hidrógeno es una fuente de energía muy abundante, ya que puede extraerse del agua mediante diversos procesos y también puede generarse como subproducto de reacciones químicas en plantas industriales. A diferencia de los combustibles fósiles, el precio del hidrógeno depende menos de las condiciones geopolíticas. En términos de impacto ambiental, el escape de la combustión de hidrógeno está libre de GEI y contaminantes tóxicos (El Hannach et al., 2019)

### 3.1.1. Tecnologías vehiculares para transporte de carga y pasajeros

Aunque los autobuses han encabezado la electrificación dentro del ámbito de los vehículos pesados, la evolución de las tecnologías de baterías y el crecimiento en la producción hacen que los camiones eléctricos también comiencen a ganar protagonismo. A pesar de esto, existen más estudios sobre el Costo Total de Propiedad (TCO) de vehículos de pasajeros que de camiones eléctricos en comparación con sus contrapartes convencionales (Tanco et al., 2019).

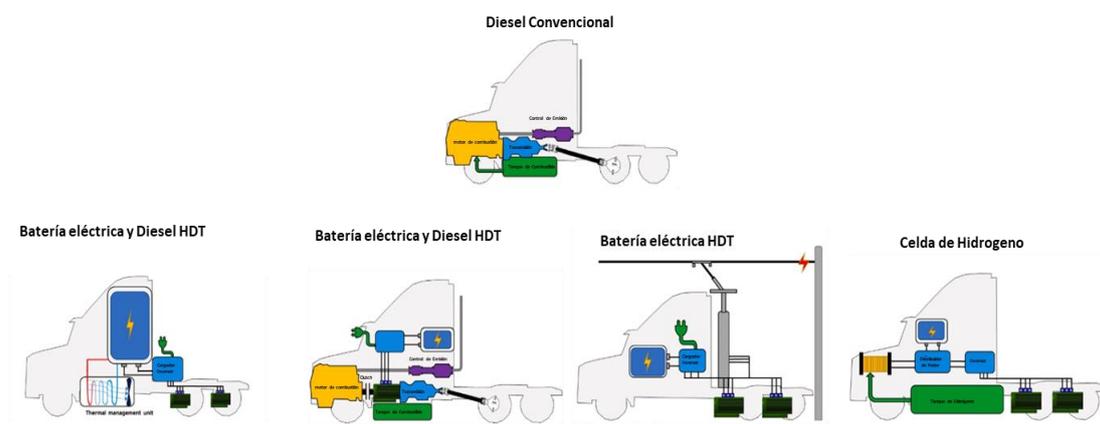
La industria automotriz del sector del transporte de carga, en su búsqueda por mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, se orienta hacia alternativas tecnológicas que reemplacen a los vehículos con motor de combustión interna. Sobresalen en este panorama los vehículos eléctricos (BEV) y los vehículos eléctricos de hidrógeno o vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV) (Ver Figura 5) Los BEV aprovechan las baterías para almacenar y proporcionar electricidad al motor, mientras que los FCEV, si bien utilizan electricidad, almacenan energía en forma de hidrógeno transformado mediante reacciones químicas (Smart Freight Centre, 2020).

En relación con las baterías, un componente esencial en la viabilidad de los vehículos eléctricos, predominan las baterías de iones de litio. Estas se distinguen por el material utilizado en el cátodo, generalmente de grafito. Los cátodos más habituales en estas baterías son el óxido de litio-níquel-cobalto-aluminio (NCA) y el óxido de litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC). Estos materiales ofrecen una durabilidad superior y densidades energéticas elevadas. Si bien el litio y el cobalto son esenciales en la producción, ambos enfrentan desafíos de suministro. Particularmente, el cobalto es preocupante debido a su concentración productiva en la República Democrática del Congo, donde persisten dilemas éticos significativos. En cuanto al litio, el reto radica en que la producción satisfaga la creciente demanda mundial (Zubi et al., 2018).

En referencia a la vida útil de las baterías, su costo representa una fracción considerable del costo global del vehículo. Reemplazarlas puede afectar negativamente el TCO. Se considera que una batería ha llegado al final de su vida útil (EOL) cuando pierde el 20% de su rendimiento o capacidad. El envejecimiento de la batería puede ser por desgaste natural con el tiempo o por la cantidad de ciclos de carga y descarga. Al llegar a su EOL, las baterías pueden reciclarse o reutilizarse en aplicaciones secundarias antes de ser recicladas o desechadas de forma adecuada. Sin embargo, es importante resaltar que el reciclaje de estas baterías todavía no es una práctica ampliamente adoptada y necesita ser impulsada.

Por ello, Los camiones eléctricos de batería (BET) son una alternativa moderna a los camiones diésel con el potencial de mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte de mercancías. No obstante, las tecnologías disponibles están mayoritariamente enfocadas a camiones de baja y mediana capacidad. La oferta es mucho más restringida para los camiones de alta capacidad, utilizados principalmente para el transporte de largas distancias.

**Figura 5** Topología de transmisión de posibles vías de electrificación para HDT



Fuente. Adaptado de Lajevardi et al., 2019 )

Cada una de las tecnologías tiene sus fortalezas y debilidades. La Tabla 3-1 describe las ventajas de las tecnologías vehiculares, indicando además los desafíos que significan para su adopción en ALC. Entre los desafíos destacan la insuficiencia de una red robusta para la carga de los vehículos, su costo inicial, la baja disponibilidad del hidrógeno, entre otros factores tecnológicos y económicos. El análisis está en línea con Cantillo et al. (2022), quienes describieron los factores que contribuirían a que la industria del transporte de carga por carretera adopte tecnologías más limpias. Los autores concluyen que factores como el precio de adquisición, la disponibilidad de estaciones de recarga, la autonomía y los costos operacionales son determinantes para tal propósito, aunado a actitudes y preocupaciones ambientales. Estímulos fiscales juegan un papel preponderante para promover la transición al abaratar los costos de compra.

**Tabla 3-1.** Ventajas y desventajas entre las tecnologías vehiculares

Tecnología	Ventajas	Desafíos y desventajas en LAC
<b>ICEV Diesel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta autonomía</li> <li>Recarga rápida y fácil</li> <li>Bajo costo combustible y de equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altas externalidades asociadas</li> <li>Tradición en el uso. Fuerte inercia al cambio por transportadores</li> </ul>
<b>Vehículos Eléctricos (BEVs)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emisiones directas nulas.</li> <li>Costo operativo potencialmente bajo debido a la reducción en el precio de la electricidad respecto a los combustibles fósiles.</li> <li>Mantenimiento reducido en comparación con vehículos con motor de combustión interna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesidad de desarrollar una infraestructura de carga robusta.</li> <li>Baja oferta para vehículos de gran tamaño.</li> <li>Dependencia en la matriz energética del país (beneficios ambientales reducidos si la electricidad se genera a partir de carbón o fuentes no renovables).</li> <li>Costo inicial elevado de vehículos y baterías.</li> <li>Autonomía limitada</li> </ul>
<b>Vehículos Eléctricos de Hidrógeno (FCEVs)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emisiones directas nulas: el único subproducto es agua.</li> <li>Alta densidad de energía.</li> <li>Recarga más rápida</li> <li>Tiempos de recarga rápidos comparables a llenar un tanque de gasolina.</li> <li>Mayor autonomía en comparación con muchos BEVs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno aún no es coste-eficiente en muchos lugares.</li> <li>Tecnología no madura. Escaso conocimiento y capacidad técnica</li> <li>Ausencia de una infraestructura de estaciones de hidrógeno.</li> <li>Riesgos asociados con el almacenamiento y transporte de hidrógeno.</li> <li>Necesidad de producir hidrógeno a partir de fuentes limpias para maximizar beneficios medioambientales.</li> </ul>
<b>Biocombustibles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de recursos renovables como la caña de azúcar o el aceite vegetal.</li> <li>Potencial para ser carbono-neutral si se maneja de forma sostenible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Competencia con la producción de alimentos.</li> <li>Cambio en el uso de la tierra puede llevar a la deforestación o degradación del suelo.</li> <li>Vehículos requieren adaptaciones para funcionar con ciertos biocombustibles.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2. Comparación de emisiones de tecnologías vehiculares transporte interurbano de carga y pasajeros

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los portadores de energía para vehículos varían según la intensidad de carbono del sistema eléctrico en el que se producen. El estudio realizado por el International Council on Clean Transportation (ICCT) aborda las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a diferentes fuentes de energía y tecnologías de vehículos pesados en el contexto europeo. Se comparó las emisiones de un vehículo con motor de combustión interna (ICE) alimentado con diésel, el mejor en su clase (2021), con una variante alimentada con gas natural (NG) y dos tipos de tren motriz de cero emisiones: vehículos pesados eléctricos de batería pura y eléctricos de celda de combustible de hidrógeno. Se empleó un análisis de ciclo de vida (ACV) basado en el modelo GREET 2020, el cual evalúa las emisiones y el uso de energía en todas las etapas del ciclo de vida de un combustible o tecnología de vehículo, desde la extracción de materias primas hasta la producción, distribución y uso final; este fue adaptado para reflejar las condiciones específicas de Europa. Se destaca que la electricidad derivada de la red europea presenta las emisiones más bajas en términos de GEI. En contraste, fuentes como el gas natural licuado (GNL) y el gas natural comprimido (GNC) registran emisiones más elevadas. Estos hallazgos subrayan la imperativa necesidad de transitar hacia fuentes de energía más limpias para lograr una reducción significativa en las emisiones.

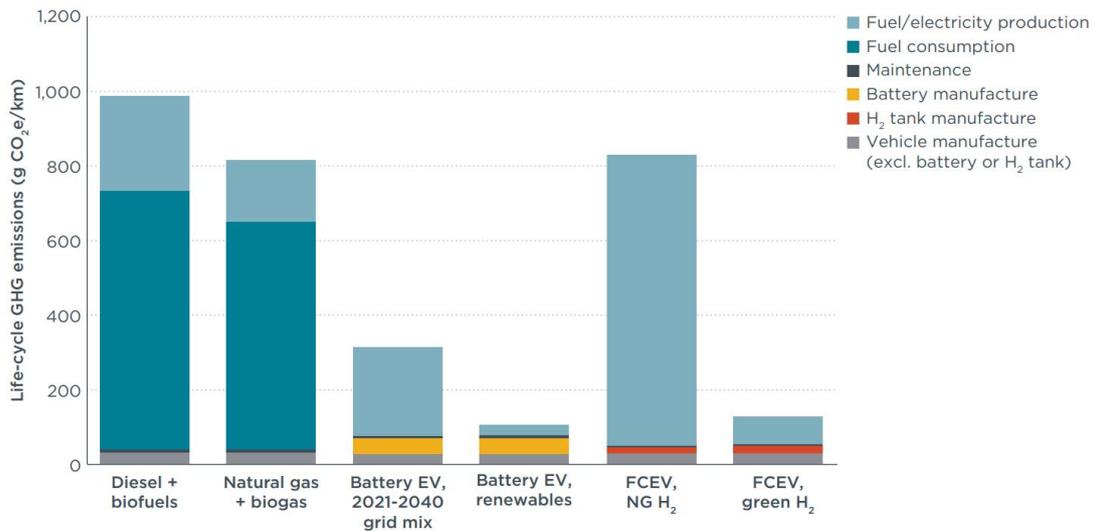
Se encontró que camiones y autobuses eléctricos de batería superan a sus homólogos de gasóleo, hidrógeno y gas natural en la reducción de las emisiones de GEI a lo largo de su vida útil. producen al menos un 63% menos de emisiones durante su vida útil en comparación con el diésel. Esta reducción es posible utilizando la red eléctrica actual de la UE, que no es 100% renovable. Así mismo, los camiones y autobuses con pilas de combustible que funcionan con hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles reducen las emisiones de gases de efecto invernadero en un 15% a un 33% en comparación con sus homólogos diésel. Cuando el hidrógeno es producido con electricidad 100% renovable, las emisiones se reducen hasta un 89%. En contraste con los camiones y autobuses eléctricos de batería, las emisiones de los camiones y autobuses de hidrógeno no se reducen drásticamente cuando se utiliza una fuente de energía no renovable, en este caso, el hidrógeno fósil.

Los camiones y autobuses de gas natural pueden reducir las emisiones de 4% a 18%. La producción y el consumo de combustible en el caso de los camiones diésel y de gas natural representa más del 90% de sus emisiones durante su vida útil. Por lo tanto, las mayores emisiones del vehículo y de la producción de la batería de los camiones eléctricos se ven compensadas por su alta eficiencia y las bajas emisiones del ciclo de combustible durante su vida útil.

En el estudio de (Bachmann et al., 2015) se encontró que los camiones diésel híbridos de Purolator reducen las emisiones de GEI en un 23 % y un 8 % para la conducción en ciudad y carretera, respectivamente. Cambiar a una flota HEV podría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> durante las operaciones del vehículo en un 25%. Los costes del ciclo de vida de los camiones de reparto híbridos no los convierten actualmente en alternativas económicamente favorables a los camiones diésel convencionales, pero su rentabilidad.

Una evaluación del ciclo de vida se llevó a cabo para evaluar los impactos ambientales y económicos generales de la implementación de soluciones de combustible dual de hidrógeno y diésel en camiones pesados (El Hannach et al., 2019). Los resultados mostraron una reducción significativa de las emisiones, proporcionalmente a la relación de cilindrada del diésel. La Figura 6 describe un análisis de las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de un remolque de 40 toneladas. Es claro que los vehículos eléctricos y el hidrógeno verde permiten las mayores reducciones en emisiones.

**Figura 6 .** Emisiones de GEI durante el ciclo de vida de un remolque de 40 toneladas en los escenarios de 2021 y 2030



Fuente: (O'Connell et al., 2023)

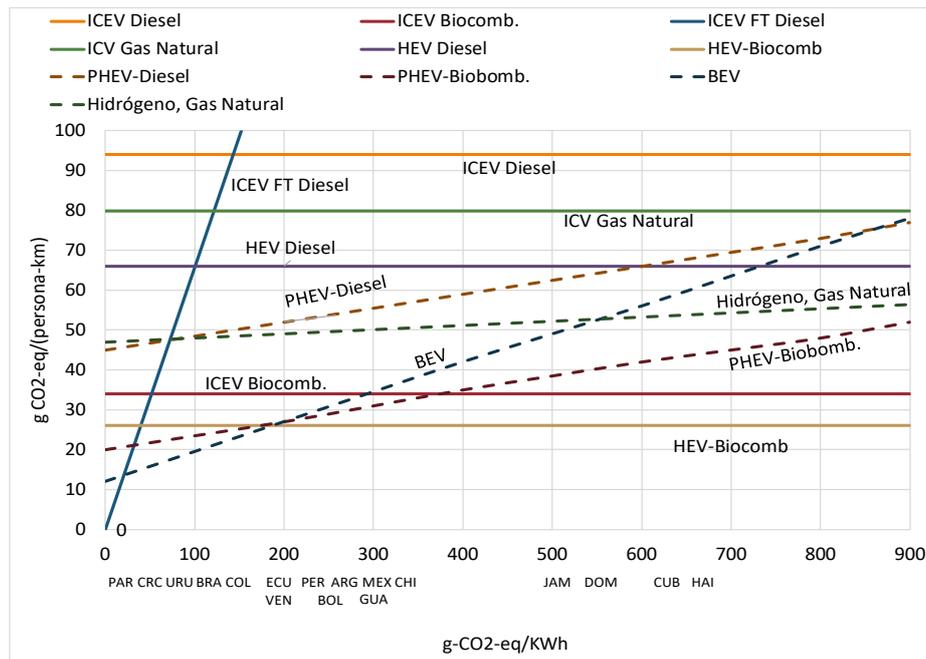
El estudio de Gustafsson et al. (2021) aborda las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con el transporte pesado, centrándose en cómo la intensidad de carbono de la electricidad afecta estas emisiones. El análisis "well-to-wheel" (del pozo a la rueda) se utiliza para evaluar el impacto total de las emisiones desde la producción de energía hasta su uso, se consideraron vehículos con fuentes de energías provenientes de gas natural comprimido (GNC), eléctrica, el hidrógeno (H<sub>2</sub>), el biometano (bio-CNG), el aceite vegetal hidrotratado (HVO), el diésel Fischer-Tropsch (FT), el gas natural sintético (SNG), etanol y ED95.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los portadores de energía para vehículos varían según la intensidad de carbono del sistema eléctrico en el que se producen. Los camiones eléctricos con batería tienen emisiones de GEI más altas que el diésel en sistemas eléctricos con alta intensidad de carbono. Esto indica que, mientras que los camiones eléctricos con batería podrían ser una opción viable en regiones con electricidad más limpia, podrían no ser la mejor elección en áreas donde la red eléctrica depende en gran medida de fuentes intensivas en carbono. Por lo tanto, para reducir las emisiones de GEI en el transporte, es esencial considerar no solo el tipo de vehículo o portador de energía, sino también la fuente de electricidad utilizada en su operación o producción. En el caso de los biocombustibles una crítica frecuente es que los cultivos de las plantas utilizadas para su desarrollo compiten por tierra para alimentos.

Por otro lado, los vehículos eléctricos resultaron más ventajosos en ciclos de conducción con muchos arranques y paradas en comparación con los motores de combustión interna. Esto indica que, en áreas urbanas o rutas con tráfico frecuente, los vehículos eléctricos podrían ser más eficientes. Así, la capacidad de elegir entre diferentes portadores de energía permite adaptar la elección según la infraestructura y las fuentes de energía disponibles en una región específica.

La Figura 7 muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por persona kilómetro considerando varias tecnologías, como función de los CO<sub>2</sub> equivalentes emitidos por la generación energética de KWh. Es evidente que la conveniencia de una tecnología sobre su potencial para la reducción de emisiones depende de que tan limpia es la matriz de generación eléctrica. Los vehículos de hidrógeno o eléctricos son menos atractivos en países donde la generación eléctrica depende altamente del combustible fósil, como es el caso de Jamaica, República Dominicana, Cuba o Haití.

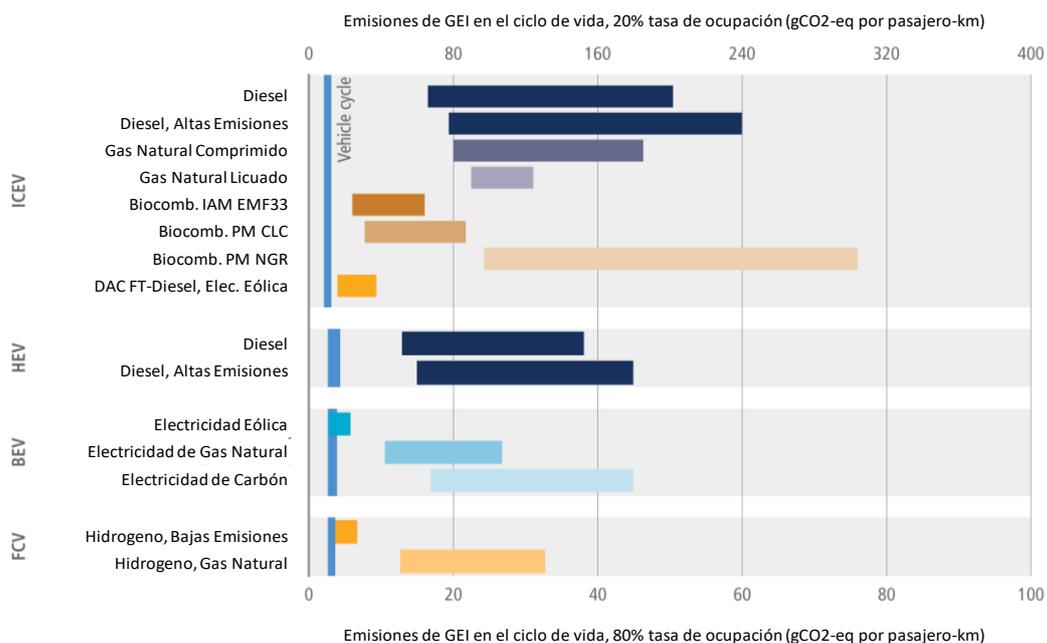
**Figura 7 . Emisiones de CO2-eq por CO2-eq en la generación generado**



Fuente: Elaboración propia utilizando la metodología de Gustafsson et al. (2021)

En el análisis debe considerarse el ciclo total de vida para evaluar el impacto real en emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque, en promedio, los vehículos de combustión interna (ICEV) son los de mayor tasa de generación, alternativas como los biocombustibles, el gas natural comprimido (CNG) o el gas natural licuado (LNG) puede tener mayor eficiencia, aunque depende del procesamiento y de la fuente de energía para su obtención. La Figura 8 presenta las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida para varias tecnologías. Puede notarse que los rangos de emisión son muy amplios, con notables zonas de traslapeo entre las tecnologías, dependiendo en gran medida de la fuente de energía utilizada para la generación eléctrica o para realizar el proceso de obtención del hidrógeno.

**Figura 8 . Emisiones de gases de efecto invernadero por ciclo de vida**



Fuente: Adaptación basada en IPCC (2022)

Sobre las posibilidades de implementación de las tecnologías en el corto y mediano plazo por parte de los operadores, hay diferencias claras según el tipo de vehículo, como se muestra en la Tabla 3-2. Claramente los vehículos diésel tienen el mayor rango de autonomía. El gas natural licuado (LNG) tiene potencial para ser utilizado en equipos grandes, al igual que el hidrógeno. Los vehículos eléctricos tienen fuertes restricciones para su uso en camiones de tamaño medio y grande.

**Tabla 3-2** Rango de aplicación de tecnologías

	Diesel	CNG	LNG	HFVE	BEV
<b>Camión ligero (3.5 - 7.5 ton)</b>	++	++	+	+	+
<b>Camión Mediano (7.5 - 18 ton)</b>	++	+	+	+	--
<b>Camión grande (&gt;18 ton)</b>	++	+	++	++	--
<b>Bus Mediano (20-35 pasajeros)</b>	++	++	+	+	+
<b>Bus Grande (35-50 pasajeros)</b>	++	+	++	++	+

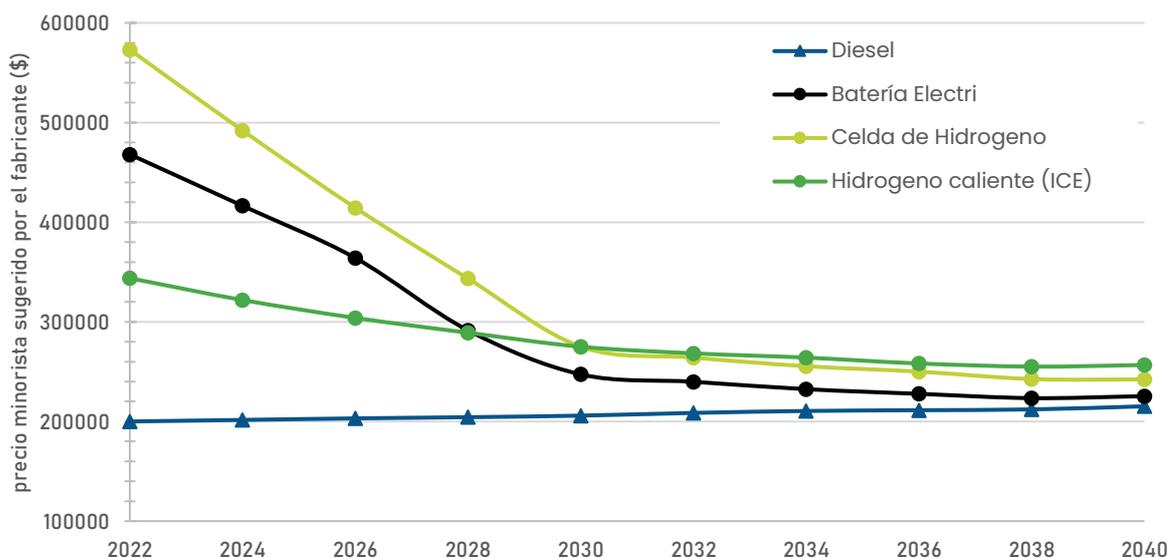
Fuente: Elaboración propia basada en Pfoser (2022)

En síntesis, no existe un único portador de energía alternativo que pueda reemplazar por completo a los combustibles fósiles. Se requerirá una combinación de varias alternativas, así como un aumento de la eficiencia.

### 3.1.3. Precios de venta

La Figura 9 muestra la evolución esperada de los precios de compra diferentes tecnologías para un camión tipo en los Estados Unidos. Actualmente la brecha de precios entre la alternativa diésel y los combustibles alternativos es sustancialmente amplia. No obstante, se espera que a partir del 2030 los precios se acerquen progresivamente hasta alcanzar casi paridad hasta el 204, aunque el diésel permanecerá como la opción de menos costo de adquisición, siendo entre un 20 y 30% más barata que otras alternativas.

**Figura 9** Predicción de la evolución de los precios de diferentes tecnologías



Fuente: Basma et al (2023). Total cost of ownership of alternative powertrain technologies for class 8 long-haul trucks in the United States.

**Tabla 3-3.** Predicción de la evolución de los precios de diferentes tecnologías. precio minorista sugerido por el fabricante (US \$)

Tecnología/Año	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038	2040
Diesel	200000	201563	203125	204297	205859	208594	210547	211328	212109	215234
Batería Eléctrica	467969	416406	364063	291406	247266	239844	232422	227734	223438	225391
Celda de Hidrogeno	573047	491953	414453	343359	275000	264063	255469	250000	242578	242188
Hidrogeno caliente (ICE)	343750	321875	303906	289063	275000	268359	264063	258203	255078	256641

Fuente: Basma et al (2023). Total cost ff ownership of alternative powertrain technologies for class 8 long-haul trucks in the United States.

### 3.2. Emisiones en LAC

El transporte por carreteras de pasajeros y mercancías representa casi las tres cuartas partes de las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte. Los motores diésel son responsables de la contaminación ambiental originada por el material particulado (PM), los CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y los SO<sub>x</sub>, que producen daños neurológicos y en el ambiente, con efectos económicos para la salud pública (BID,2020).

Según el escenario de emisión neta cero (IEA. 2020), para los camiones pesados, la participación neta del combustible diésel que en 2022 es cerca del 90% a escala mundial, será reemplazado paulatinamente, siendo cerca del 75% a 2030 y 10% a 2050. Los camiones diésel serían sustituidos principalmente por vehículos eléctricos y de hidrógeno. A su vez, los biocombustibles serán relevantes en el corto y mediano plazo, pero a 2050 tendrían una participación similar a la del diésel, cercana al 10%.

En la región, ciudades como Medellín, Cochabamba y Ciudad de México ya experimentan efectos adversos en salud pública derivados de la emisión de gases y material particulado (OMS, 2016). En Colombia el transporte representa el 12% de las emisiones de Gases de Efecto invernadero (GEI) en Colombia, la mitad de las cuales corresponden a camiones pesados y buses. El uso de motores y combustibles limpios en el transporte automotor de carga colombiano es bajo: solo el 0,5% de los camiones utilizaron combustibles de bajas emisiones en 2017. Dentro de los vehículos diésel, el 33% tenía motores por debajo de los estándares Euro; el 58%, de Euro I a Euro III; y el 9%, Euro IV o superior. Este panorama es muy similar en los restantes países de ALC. Las iniciativas para adoptar vehículos y combustibles con emisiones de carbono bajas o nulas son aún incipientes.

Las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> per cápita en la región son de 960 kg, de las cuales el 35% corresponde al sector transporte, como porcentaje de la quema total de combustible. Esta tasa es inferior a la de Estados Unidos (4400 kg/persona) y de la Unión Europea (1712 kg/persona). La Figura 10 muestra la evolución de emisiones en algunos países de la región, notando que en algunos casos esta ha mantenido tendencias crecientes.

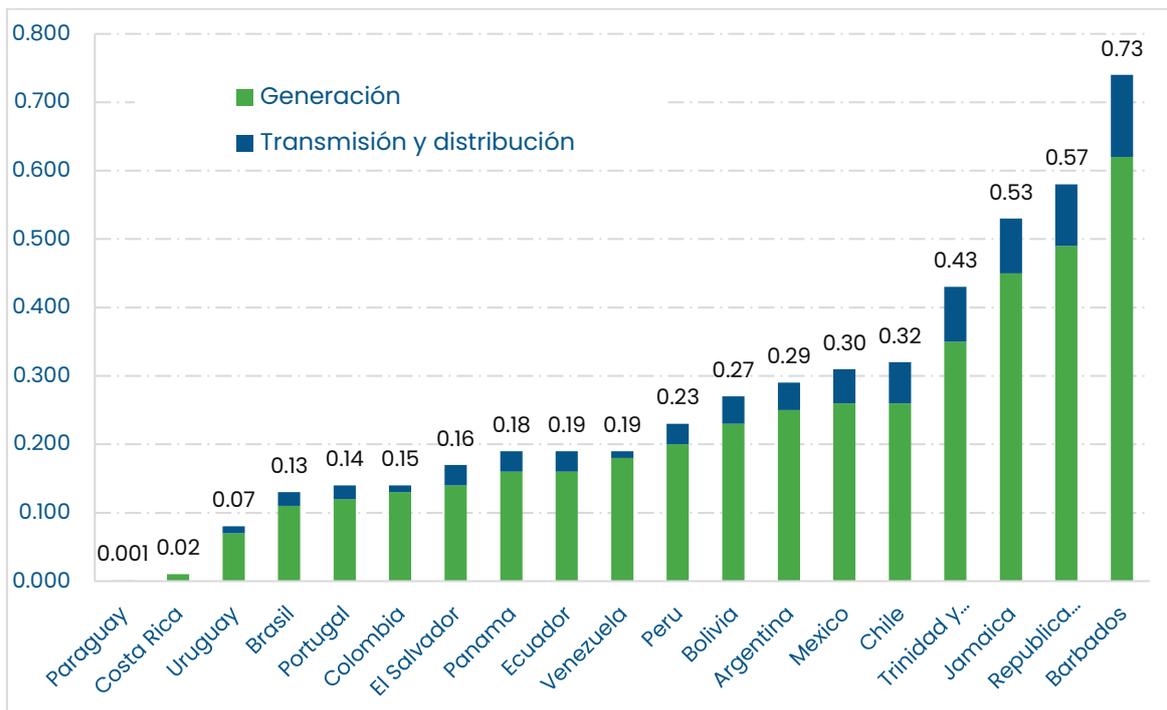
**Figura 10** Emisiones relacionadas con el sector Transporte. Toneladas de emisiones de CO2 per cápita de 2000 a 2014



Fuente: Elaboración propia Datos del World Bank (2019)

Un aspecto relevante que influirá en el impacto sobre las emisiones de las tecnologías disponibles para la transición hacia de descarbonización del transporte es la composición de la matriz de energética. La Figura 11 presenta factores de emisión por kWh. En la mayor parte de ALC se utilizan fuentes limpias (embalses, eólica), en tanto que otros, como es el caso de las islas del Caribe, dependen fuertemente para la generación de energía de combustible fósil. El hidrógeno verde tiene potencial en países en los cuales la matriz eléctrica es altamente renovable, habiendo posibilidad de ser exportadores. No así en los países con alta dependencia de combustible fósil para la generación eléctrica.

**Figura 11** Factor de emisión CO2/kWh (Generación + Transmisión y Distribución)



Fuente: Adaptación de IEA (2022)

## 4. Estado transición energética en ALC

La electrificación del sector transporte seguirá creciendo a nivel internacional y en ALC impulsada por el deseo de descarbonizar. La penetración de vehículos eléctricos aumentará constantemente en la región de ALC, comenzando desde una base muy baja. Aún en los países con mayores niveles de avance, la penetración en camiones y buses interurbanos eléctricos es menor al 1%.

Varios países de la región ya han establecido agendas para la electrificación. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 2021), varios países firmaron un acuerdo para reemplazar vehículos diésel y a gasolina en 2014. Entre los países firmantes se encuentran Chile, República Dominicana, El Salvador, México, Paraguay y Uruguay. Costa Rica, Perú, Chile, Uruguay y Colombia han establecido planes de descarbonización y alcanzar neutralidad de carbón en 2050 para el sector transporte. Las últimas fases están previstas para el transporte de carga y pasajeros a escala interurbana, de manera que las victorias tempranas serán más fáciles de alcanzar en los servicios urbanos y suburbanos.

La adopción temprana de los vehículos eléctricos se caracteriza por altos costos iniciales y de adquisición. Varios en el mundo países (p.e. China, USA, Noruega, Suecia, entre otros), han proporcionado incentivos sobre los costos de compra y/o gastos de operación, pero esta estrategia de promoción se ha limitado a países con altos ingresos per cápita. Sin embargo, esto no ha sido el caso de ALC ya que se requiere un flujo sostenible de inversiones.

La Figura 12 describe los combustibles utilizados en el sector transporte en ALC. En buses y camiones hay un predominio del combustible diésel, con algunos casos de uso de biocombustibles. La proporción de la flota eléctrica es extremadamente marginal. China ha liderado el mercado de buses y camiones, tanto la oferta como la demanda, impulsado con energías alternativas, principalmente a través de incentivos tributarios.

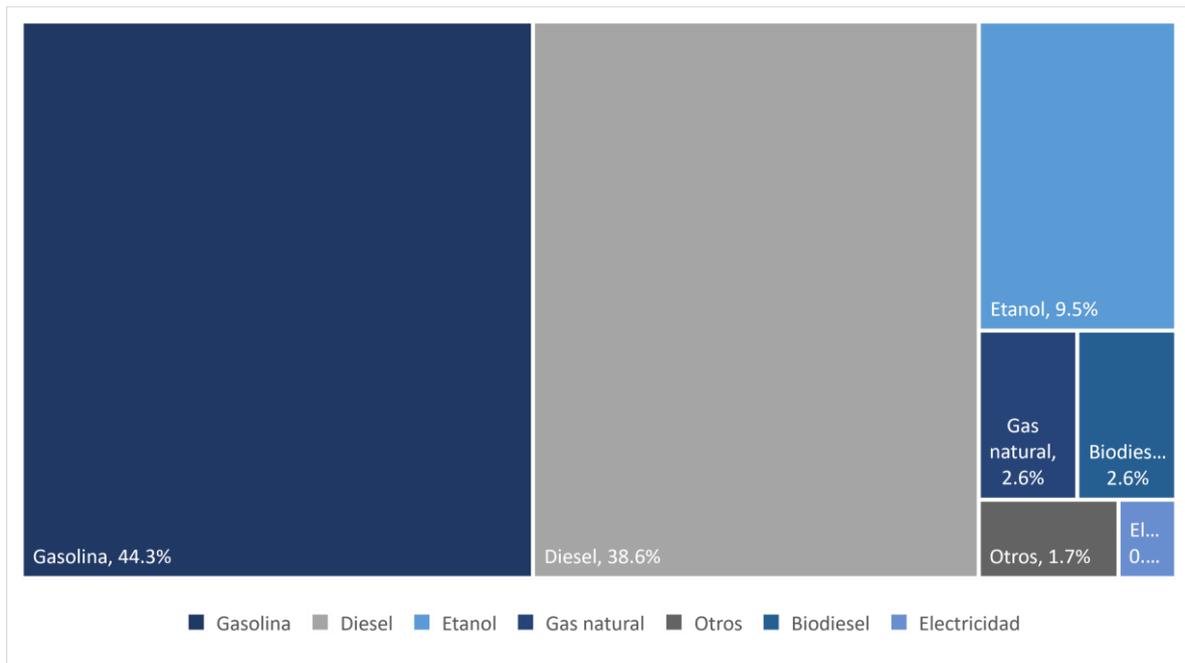
En la mayoría de los países de América Central la penetración de vehículos eléctricos y otras tecnologías como el hidrógeno está en etapa iniciales (Viscidi et al., 2021), logrando avances muy marginales. La infraestructura para recarga es extremadamente limitada, aunque hay algunos adelantos en regulación y apoyo del estado. Costa Rica es el país que evidencia mayor grado de avances. Panamá, El Salvador y Guatemala muestran algunos progresos en la definición de políticas para la electrificación del transporte. En contraste, Honduras y Nicaragua solo están tomando pasos iniciales.

En ALC, a pesar de los estímulos en varios países como Colombia, Chile, Argentina, Brasil y México, estos no han sido suficientes para una renovación masiva de la flota. Los autobuses urbanos han sido los vehículos pesados más propensos a la electrificación. Sin embargo, con mejoras en la tecnología de baterías, aumentos en la producción y mayor oferta de estaciones de recarga, los camiones eléctricos y los buses interurbanos también están volviéndose más disponibles y viables.

En algunos casos la política también ha apuntado a diversificar la partición modal en el transporte, promoviendo modos más sostenibles como el ferrocarril o el transporte por aguas en planes maestro intermodales de transporte. No obstante, sigue existiendo un claro predominio del transporte por carretera de pasajeros y de carga.

La electromovilidad representa una gran oportunidad para los países de ALC, en particular gracias a que la matriz de generación energética de la región es menos contaminante que la de otros países como mayores niveles de ingreso. De hecho, el factor de emisión para ALC (0,21 kgCO<sub>2</sub>/kWh) es aproximadamente 62 % inferior que el de Estados Unidos, 69 % que el de Alemania y 49 % inferior que el de Países Bajos (Econométrica, 2011).

**Figura 12** Combustible utilizados por el sector transporte en ALC



Fuente: (Changing Transport, 2021).

Sin embargo, aprovechar estas oportunidades requiere trazar agendas integrales de política pública, regulación e incentivos que involucren a los diferentes actores y componentes del sistema. La región no oferta las nuevas tecnologías, por lo cual estas son importadas. No obstante, es posible que, gracias al potencial del mercado existente, en el mediano plazo se instalen plantas productoras de vehículos de transporte impulsados por electricidad u otras fuentes limpias.

Un desafío no menor es disponer de la capacidad de generación para atender la creciente demanda de los vehículos eléctricos. La región tiene un gran potencial de aumentar su capacidad de energía solar en un factor de 40 para 2050, pero hay casos en los que el almacenamiento de energía o las líneas de transmisión constituyen un obstáculo para avanzar. El hidrógeno verde en combinación con la generación de energía solar representa entonces una oportunidad para América Latina y el Caribe, no solo como solución para el “almacenamiento de energía” en áreas más remotas, sino también para agilizar la transición hacia el transporte de bajas emisiones.

Países como Costa Rica y Paraguay son claros ejemplos del potencial que tiene ALC. Pese a que prácticamente toda su energía se genera a partir de fuentes renovables, el 42 % del total de emisiones de GEI en Costa Rica proviene de vehículos que usan combustibles fósiles. En el Paraguay, el 89 % de las emisiones totales del sector energético están vinculadas al transporte.

En resumen, el transporte de carga y pasajeros a escala interurbana suele considerarse un desafío, pero también puede constituir una oportunidad si se buscan formas de reducir las emisiones rápidamente en ALC aprovechando las potencialidades de la región.

## 5. Políticas implementadas en ALC

En América Latina, se han implementado diversas estrategias para abordar la transición hacia una flota de vehículos pesados más eficiente y ecológica. Por ejemplo, Chile, Colombia y México han diseñado programas como "Cambia tu camión", "Renovación Vehicular" y "Esquema de Sustitución y Renovación Vehicular" respectivamente. Estos programas ofrecen incentivos fiscales y financieros para que los operadores de carga retiren sus vehículos más antiguos y contaminantes, reemplazándolos con unidades más eficientes, lo que resulta en una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, México ha implementado el programa voluntario "Transporte Limpio", dirigido a reducir el consumo de combustible y las emisiones, tanto en el transporte de pasajeros como de carga, a través de estrategias, tecnologías y mejores prácticas. En Brasil, la iniciativa estratégica "Brazilian Green Logistics Program (PLVB)" busca reducir la intensidad de las emisiones de GEI y mejorar la eficiencia logística y de carga mediante capacitaciones a los actores involucrados en estas actividades. Argentina, por su parte, está en las etapas iniciales de implementación de su propio programa de transporte limpio, con un enfoque en la eficiencia del transporte de carga por carretera.

Colombia, al igual que otros países de la región, ha tomado medidas para mejorar la calidad del combustible y permitir tecnologías más limpias en el sector del transporte. La reciente reforma tributaria exime a los transportistas de carga si certifican la neutralidad de carbono de sus operaciones. El Ministerio de Transporte Colombia tiene la visión de implementar un programa de renovación de flota, respaldar prácticas logísticas eficientes y el transporte intermodal. Sin embargo, los desafíos incluyen la necesidad de realizar pruebas de emisiones y estudios de costo-beneficio para diseñar políticas efectivas.

En México, a pesar de recursos limitados, la SEMARNAT ha llevado adelante desde 2008 el programa "Transporte Limpio", con énfasis en la colaboración con la industria y la característica voluntaria del programa para motivar la participación. El desafío actual es expandir su alcance al sector operado por el propietario, implementar una plataforma de verificación de tecnología y armonizar el programa con el SmartWay de América del Norte.

En Perú, como parte de sus compromisos climáticos internacionales, se ha trabajado en reducir las emisiones de GEI, con esfuerzos para aumentar el uso de gas natural y programas piloto de formación en conducción ecológica. Sin embargo, hay desafíos por delante, como la necesidad de expandir los programas de capacitación y asegurarse de que los incentivos de desguace sean equitativos.

En Brasil, la Confederación Nacional del Transporte (CNT) a través de SEST SENAT, ha brindado beneficios a los camioneros, incluyendo formación en conducción ecológica. La organización también ha realizado encuestas de eficiencia de combustible y se encuentra planeando un proyecto piloto de verificación de tecnología. En Uruguay, mientras se fomenta la participación de vehículos eléctricos, también se promueve el cambio modal y la formación en conducción ecológica. Los retos incluyen superar barreras como el tiempo de capacitación y el desarrollo de metodologías robustas para verificar mejoras de eficiencia.

**En resumen, a lo largo de América Latina, diversos países han implementado estrategias de renovación de flotas y programas de eficiencia en el transporte pesado. Cada país enfrenta desafíos únicos, desde recursos limitados hasta la necesidad de superar barreras técnicas y logísticas. A medida que avanzan hacia una transición energética más sostenible, la colaboración entre la industria y el gobierno, junto con la adaptación de enfoques globales a contextos locales, sigue siendo esencial para lograr un futuro más limpio y eficiente en el transporte. La**



Tabla 5-1 sintetiza algunas de las políticas implementadas en países de ALC para incentivar la transición energética en el sector transporte. Hay metas ambiciosas en los horizontes 2035 a 2050, con mayor énfasis en el transporte urbano de pasajeros.



Tabla 5-1. Políticas implementadas en LAC

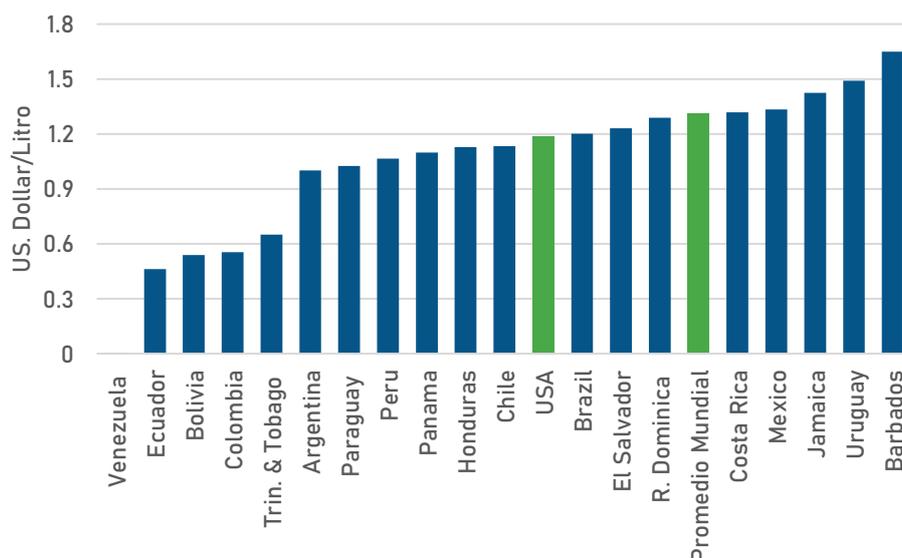
	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	México	Uruguay
Facilidades para importar vehículos propulsados por GNC y GNL		Proyectos ambientales para racionalizar el uso de combustible: Proyecto TransportAR y Proyecto EconomizAR	Normas de Emisión de Motores de Vehículos Pesados Nuevos (Euro V). (Resolución 2321 de 2008)	Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) (Ley 697 de 2001)	Reglamento para control de las emisiones producidas por los vehículos automotores (Reglamento 39724 -MOPT de 2016)	Norma Oficial Mexicana con especificaciones de calidad de combustibles (NOM-EM005-CRE-2015)	Beneficios tributarios con relación IVA correspondiente a las adquisiciones de equipos nuevos de autotransporte (Decreto 210/010)
Reducción plazo para validar homologación de vehículos importados de Europa				Política para la modernización del sector transporte automotor de carga (CONPES 3963)	Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres y Seguridad Vial - control de emisiones (Ley 9078)	Norma Oficial Mexicana con Límites máximos permisibles de emisiones generadas por vehículos automotores (NOM-044-SEMARNAT-2017)	Optimización de los niveles de emisión de gases y ruidos por parte de vehículos pesados de transporte (Decreto 111/008)
		Ventas 100% cero emisiones V. Pesados (2045) Buses interurbanos (2045)		Flota eléctrica para los sistemas de transporte masivo (2035)	Ventas 100% cero emisiones Buses interurbanos (2050)		Ventas 100% cero emisiones Buses interurbanos (2045)

Fuente: Samantha Pettigrew ICTT, 2022



Un escollo para la transición es la presencia en gran parte de ALC es la existencia de subsidios directos para los combustibles fósiles, en particular del diésel, usado mayoritariamente por los equipos utilizados para los servicios de transporte de carga y pasajeros. Tal como se muestra en la Figura 13, en un grupo importante de países de la región, incluyendo importadores netos de combustible, tienen precios por debajo del promedio mundial. Los subsidios a los combustibles fósiles, que ha sido difícil desmontar por consideraciones políticas, desincentivan el cambio hacia otras fuentes limpias. Más aún, no se han implementado masivamente impuestos verdes, como lo sugiere el plan de acción de los ODS.

**Figura 13** Precios del diésel en ALC



Fuente: (Globalpetrolprices, 2023)

Se destaca, no obstante, la definición de estándares de eficiencia energética y metas de 100% de cero emisiones, como se muestra en la Tabla 5-2. Debe aclararse que los años en la tabla para estándares de eficiencia energética especifican el primer año de implementación. Para las metas de 100 % cero emisiones, es el año cuando el país promete cumplir ese objetivo en ventas de flotas.

**Tabla 5-2** Países en América Latina con estándares de eficiencia energética y metas de 100 % cero emisiones

País	Estándares de eficiencia energética			Metas de ventas 100 % cero emisiones				
	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Buses urbanos	Buses interurbanos
Brasil	2012							
Chile	2022	2024	2026	2035	2035	2045	2035	2045
Colombia							2035	
Costa Rica							2050	2050
Ecuador				(taxis) 2025			2025	2025
México	2013							
Uruguay						2045	2045	2045

Fuente: (Pettigrew, 2022)

## 5.1. Caso de estudio

En esta sección se presentan casos de estudio sobre políticas en algunos países de la región

## 5.1.1. Chile

### Situación Actual en Chile

Chile, como ejemplo representativo de la región, ha mostrado una creciente preocupación por la sostenibilidad en el transporte de carga. Según datos recientes del Diario Financiero, el sector de transporte en Chile es responsable de un 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta cifra subraya la urgencia de implementar medidas para reducir el impacto ambiental. El transporte de carga es un servicio crítico para la economía de Chile, movilizándolo el 95% de la carga que circula por sus carreteras.

### Iniciativas Destacadas

El Programa Giro Limpio creado en 2019, impulsado por la Agencia de Sostenibilidad Energética en Chile, se presenta como una solución prometedora. Este programa busca promover la eficiencia energética y el control del uso de combustibles en las empresas de transporte. Aquellas que han adoptado sus directrices han logrado reducciones significativas en emisiones (15%) y consumo de combustible.

### Mirada al Futuro

La electromovilidad y el hidrógeno verde emergen como soluciones potenciales para enfrentar los desafíos ambientales del transporte en la región. Aunque prometedoras, estas alternativas enfrentan desafíos, como la infraestructura necesaria y los costos asociados. Las metas de vehículo de cero emisiones se muestran en la Figura 14.

### Casos de Éxito

Bodegas San Francisco, es un ejemplo de cómo las empresas pueden adoptar prácticas sostenibles. Al implementar el programa Giro Limpio, lograron reducir en un 50% los tiempos de ralentí, lo que se traduce en ahorros significativos en combustible.

### Compromiso Empresarial

Empresas líderes, como SQM, están tomando la iniciativa en la transición energética. Al obtener el Sello Giro Limpio, SQM reafirma su compromiso con la sostenibilidad y la reducción de su huella de carbono.

**Figura 14** Metas de ventas de vehículos de cero emisiones en Chile, a través de su Estrategia Nacional de Electromovilidad.



Fuente: Ministerio de Energía, Gobierno de Chile.

Chile definió el primer estándar de vehículos pesados a implementarse en América Latina, vigente desde 2028. Los estándares bajo la nueva ley consistirán en metas de rendimiento energético promedio corporativo. La regulación se logra a través de una ley de eficiencia energética y las metas de ventas cero emisiones. Esta define niveles de eficiencia de los vehículos livianos, medianos y pesados; incentivos para vehículos cero emisiones; regulación de interoperabilidad para los sistemas de recarga para los vehículos eléctricos. Además, se anuncia el hidrógeno como combustible oficial.

Dentro de los esfuerzos para modernizar y reducir las emisiones del sector de transporte en Chile, destaca un aspecto singular en su legislación que tiene un alcance limitado en otros países. Este aspecto se relaciona con la designación específica del hidrógeno como un combustible oficial en la ley. Esta legislación otorga al Ministerio de Energía la competencia para regular y considerar al hidrógeno como un recurso energético con peso.

Dado el acceso sustancial a recursos naturales en Chile, se visualiza la oportunidad de incorporar el hidrógeno producido de manera sostenible en la matriz energética, basada en fuentes renovables. El propósito fundamental es eventualmente reemplazar los combustibles fósiles como la gasolina y el diésel. Esta medida cobra relevancia en situaciones en las que la tecnología de baterías no siempre es adecuada para cumplir con las necesidades de autonomía y los plazos de recarga exigidos por ciertas operaciones. Este escenario abarca aplicaciones como los vehículos de carga y transporte de pasajeros de larga distancia, que requieren prestaciones más elevadas en términos de alcance y eficiencia en los tiempos de recarga. (Ministerio de Energía - Gobierno de Chile, 2020).

### 5.1.2. Colombia

Actualmente en Colombia el transporte por carretera de carga y pasajeros está dominado por combustibles diésel y gasolina, que juntos representan el 96% de la flota. Le sigue el gas natural GN (4%). Menos del 0.5% corresponde a fuentes alternativas (híbridos, eléctrico). No obstante, se proyecta un crecimiento del GNV y de los vehículos eléctricos y de hidrógeno. Según las proyecciones del Plan Energético Nacional (UPME, 2019), se espera que para el transporte interurbano el GNV sea entre el 5 al 7% de los vehículos al 2030 y del 8 al 11% a 2050. A su vez, los camiones y buses eléctricos y de hidrógeno serían el 8% de los vehículos interurbanos a 2030 y el 41 al 49% a 2050.

En 2019, el gobierno colombiano promovió la Ley 1964 que define incentivos para los vehículos eléctricos en Colombia como una estrategia para reducir las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. La ley incluye incentivos tributarios, exenciones a restricciones de circulación, estacionamientos preferenciales, incentivos para proveer estaciones de recarga en los municipios más importantes,

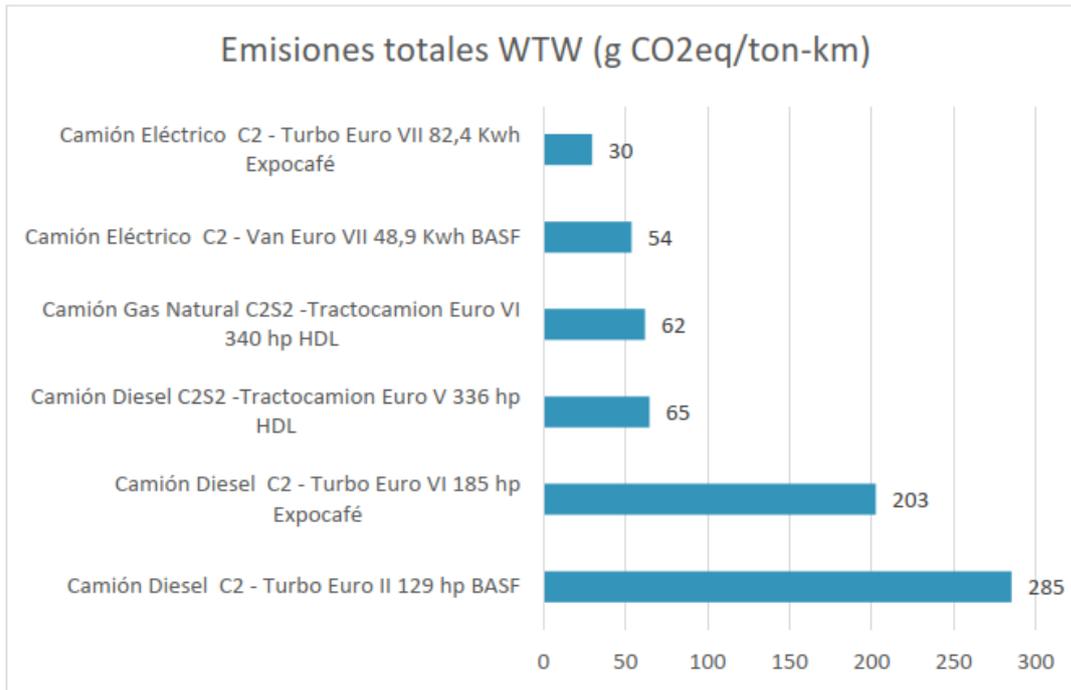
En 2021, se publicó la ley 2169 de acción climática, por la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad. Entre las medidas relacionadas con el sector transporte, se definen acciones para avanzar hacia la paridad de precios entre vehículos eléctricos y convencionales, estímulos fiscales y la creación de fondos para financiar programas de movilidad de cero emisiones. Además, se contempla la renovación del parque automotor de carga de mayor antigüedad (57.000 camiones) al año 2030.

Según estudios realizados de la demanda de hidrógeno y derivados de bajas emisiones (Ministerio de Minas y Energía, 2022), se estima que la demanda del sector transporte comenzará en 2026, fundamentalmente en el transporte terrestre pesado (buses y camiones). A 2030 se plantea un parque entre 1000 y 1500 vehículos pesados (buses y camiones) de pila de combustible, servidos por entre 50 y 100 hidrogeneras de acceso público, requiriendo inversiones entre 2500 y 5500 millones de dólares. Se estima que el uso de hidrógeno puede permitir abatir hasta 4200 kt de CO<sub>2</sub> en 2050 para el transporte por carretera de buses y

camiones. El estudio proyecta una demanda creciente del sector transporte que a 2030 representaría una participación del 6%, en tanto que a 2050 proyecta un 64%.

Los resultados de un piloto realizado en el país (Rey et al., 2022) con camiones de bajas emisiones, comparando con vehículos diésel, muestran claramente los beneficios de los camiones eléctricos que, en el contexto colombiano, son sustancialmente menores que las de otras tecnologías (ver Figura 15). Las diferencias son aún mayores en el costo energético (Figura 16) y en las tasas de emisión relativa al costo (ver Figura 17).

**Figura 15** Comparación emisiones totales entre tecnologías.



**Figura 16** Comparación costo energético

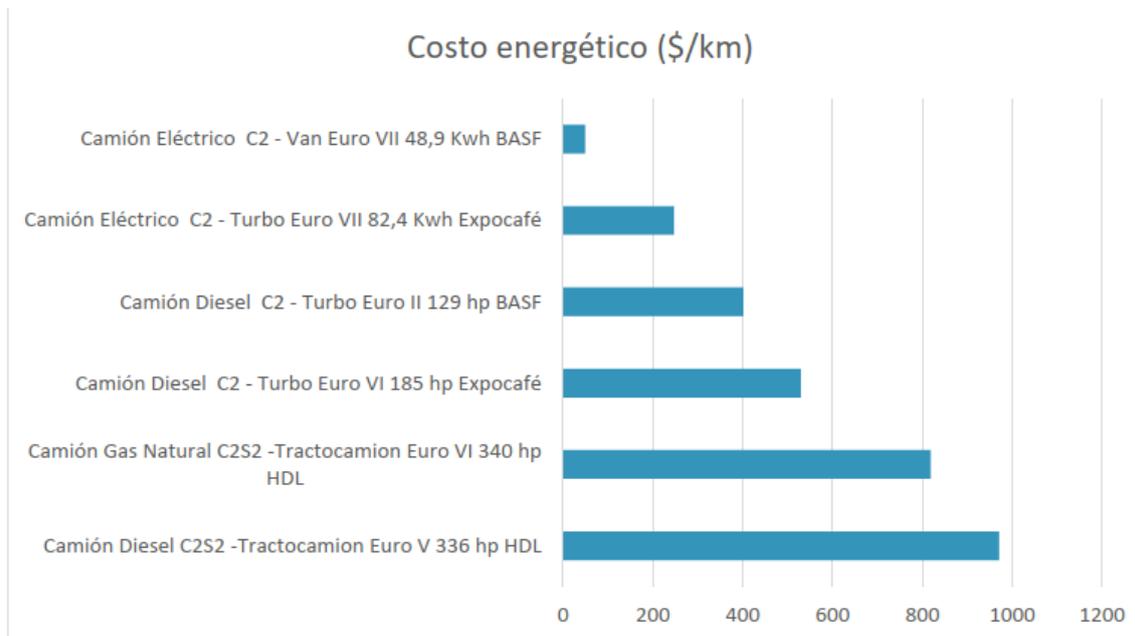
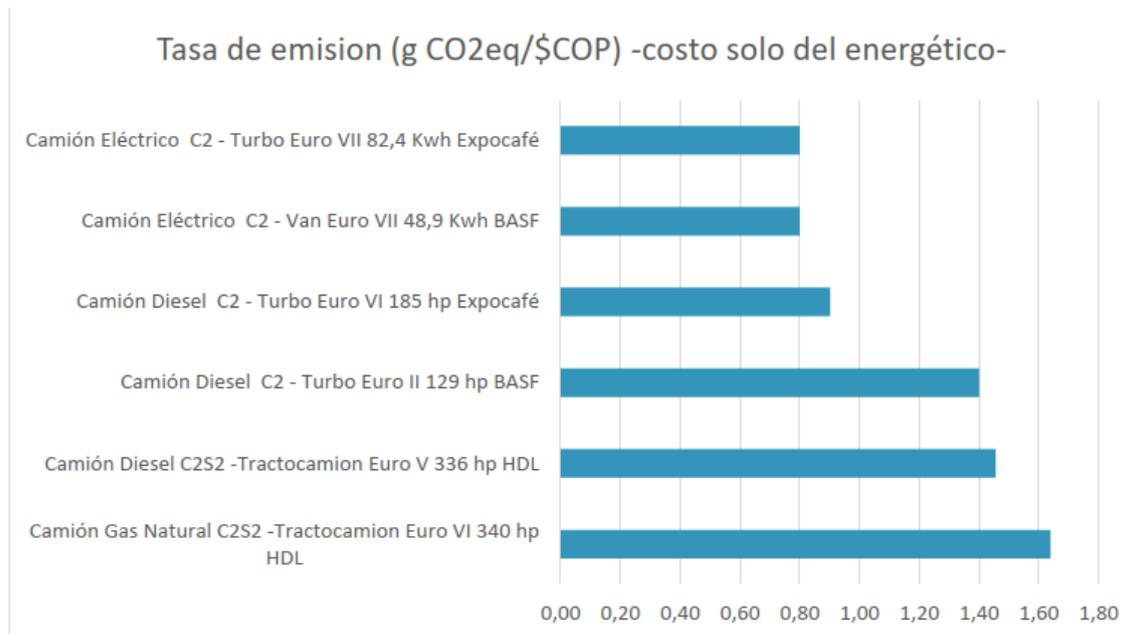


Figura 17 Comparación tasa de emisión



En el mercado colombiano de carga por carretera existen controles de precios, mecanismos de desintegración, requisitos de intermediación, incentivos fiscales y estándares de tecnología, de combustible y de dimensiones. Algunas de estas regulaciones inducen la adopción de tecnologías y prácticas limpias, mientras que otras regulaciones tienen un efecto ambiguo o negativo, como es el caso de los fuertes subsidios al combustible diésel. Además, no hay una legislación que limite la vida útil de los camiones, como si la existe para los buses de 20 años.

## 5.2. Consideraciones fiscales

La dependencia de los países de ALC de los ingresos por gravar el consumo de diésel y gasolina en el sector del transporte es menor que la de la OCDE y los países africanos (Texeira et al., 2022). La transición energética en el transporte puede afectar los ingresos del gobierno de dos maneras. Ellos son los costos fiscales de la promoción de los vehículos eléctricos y la disminución de los ingresos por impuestos a combustibles fósiles.

En el largo plazo, los ingresos por impuestos a los combustibles deberán reevaluarse en la región de ALC, debido a la reducción en el consumo de gasolina y diésel, y su impacto asociado en los ingresos del gobierno. De hecho, la reducción de los ingresos del gobierno ya está ocurriendo naturalmente debido a la eficiencia energética en el sector del transporte. Sin embargo, a largo plazo, los gobiernos tienen un menú de opciones para mitigar el impacto derivado de la reducción de impuestos a los combustibles

Es necesario ajustar el precio del combustible para acelerar la descarbonización. Reformas en la política de subsidios a los combustibles en la región de ALC puede contribuir a establecer los precios correctos y establecer un campo de juego nivelado entre las tecnologías de combustibles,

En este contexto, algunos países de la región están introduciendo estrategias para la electrificación del sector del transporte y diseñando instrumentos fiscales para gestionar su transición hacia un sector más limpio y eficiente.

El sector privado puede planificar un papel importante para reducir la presión fiscal para inversiones de capital, como en estaciones de carga para electromovilidad. Para el transporte de larga, es necesario involucrar en las políticas fiscales y estratégicas de descarbonización a

todos los actores logísticos; no solo los transportadores, sino también los generadores y receptores de carga. Por ejemplo, definiendo la trazabilidad de la huella de carbono en toda la cadena de abastecimiento.

La adopción de la electromovilidad debe verse como parte de una estrategia de movilidad más amplia con un enfoque estable y como una oportunidad para que los países reformen su modelo fiscal.

Un aspecto relevante es el diseño de principios y lineamientos para ayudar a los países de ALC a anticipar y mitigar los impactos fiscales derivados de la electrificación del sector del transporte. Ello considerando que la electrificación del sector transporte continuará creciendo en la región motivada por las metas de descarbonización. La penetración de vehículos eléctricos continuará sostenidamente, con velocidades diferentes entre los países

En gran parte de la región los combustibles son subsidiados. La introducción de electromovilidad impactará las rentas estatales de varias maneras. En los países donde hay subsidios a los combustibles, se liberarán recursos que pueden ser empleados para otras inversiones sociales. Entre las nuevas inversiones requeridas se incluye la transferencia de subsidios para incentivar tecnologías limpias. Entre estos, subsidios directos para la renovación de la flota y subsidios para extender la red de estaciones de recargas. La vinculación del sector privado es crucial para reducir la presión fiscal por las inversiones en capital necesarias, como es el caso de la oferta de estaciones de recarga en carreteras.

Asignar precios correctos a los combustibles fósiles es una política esencial para acelerar la descarbonización. Políticas fiscales en este sentido implican tarifificar considerando los costos sociales asociados y, por tanto, eliminar los subsidios e implementar impuestos verdes. Sin embargo, dada la sensibilidad política hacia los precios de los combustibles, avanzar en esta dirección no es tarea fácil, por lo cual se debe hacer gradualmente.

## 6. Desafíos y oportunidades

Desde una perspectiva panorámica, se puede observar que en ALC se encuentran presentes diversas de las barreras convencionales que dificultan la incursión y la adopción de vehículos eléctricos y otras tecnologías limpias, debido a la falta de estímulos similares a los implementados a nivel global. Aún la penetración de vehículos de cero emisiones es incipiente.

En ALC, la revisión de literatura realizada expone que no hay muchos estudios de costo total de propiedad (TCO) sobre vehículos eléctricos e hidrógeno. Existen informes recientes que presentan la situación general de la región y algunas condiciones particulares que se dan en algunos países. El informe de la ONU (2016) presenta una visión amplia de la relación de ALC con la movilidad eléctrica, el mercado actual, el contexto para su introducción y los incentivos existentes para los vehículos eléctricos junto con diferentes escenarios futuros que pueden surgir con el crecimiento de la movilidad eléctrica. El estudio de Marchán & Viscidi (2015) se centra en la perspectiva de la movilidad eléctrica en cuatro países (Brasil, Chile, Colombia y México) y ofrece recomendaciones sobre políticas públicas clave para promover esta nueva tecnología. Sin embargo, no se realiza ningún estudio de TCO ni de los camiones eléctricos a batería. Otra gran visión de la situación de la región y perspectiva futura de la movilidad eléctrica la realiza el Banco Interamericano de Desarrollo (2016) con la singularidad de que este informe incluye un análisis de TCO en el contexto latinoamericano para una lista específica de países (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú). No obstante, este análisis del TCO se basa en la comparación de turismos únicamente. También se encontraron algunos estudios recientes sobre movilidad eléctrica en la región, como el de da Silva et al. (2018), pero no se encontraron referencias a los camiones eléctricos a batería. Su objetivo es “presentar una visión general de los aspectos económicos de las compras de BEV desde la perspectiva de los consumidores en todas las capitales de los estados brasileños”, centrándose en los automóviles de pasajeros. A pesar del creciente interés en camiones eléctricos de batería y la aparición de nuevos prototipos y anuncios de producción en Brasil ya en 2020 (Tanco et al., 2019).

### 6.1. Desafíos

Un conjunto de desafíos se refiere a lo relacionado con infraestructura y soporte técnico. Es necesario desarrollar una infraestructura para la recarga; además, falta capacidad y respaldo técnico para el mantenimiento de los vehículos.

Los aspectos tecnológicos también son relevantes. Se debe verificar las tecnologías y soluciones disponibles para los transportistas, sus costos y beneficios y diseñar guías que apoyen la adopción de alguna de ellas según las condiciones específicas del transportista y del país.

Las características de la industria del transporte de carga y de pasajeros también imponen retos. En particular la estructura empresarial atomizada, con una altísima proporción de propietarios individuales, con escasa capacidad para realizar inversiones en renovación de los equipos. No menos relevante es el efecto de inercia o resistencia al cambio para cambiar hacia nuevas tecnologías, particularmente si están satisfechos con el tradicional diésel.

Por supuesto, son relevantes los retos financieros. El costo de las nuevas tecnologías es superior a las tradicionales. Los transportadores, especialmente los más pequeños, tienen recursos financieros restringidos y tienen limitaciones para acceder a créditos. En la decisión de elegir tecnología está presente el dilema de enfrentar el impacto ambiental con la rentabilidad del negocio. Para inclinar la balanza deben diseñarse estímulos apropiados.

Gran parte de los transportadores tradicionales tienen poco conocimiento de las nuevas tecnologías. Aún persisten preconcepciones erróneas. Es relevante diseñar programas de información para sortear el escaso conocimiento del potencial tecnológico (según ciclo

específicos de servicio) de las nuevas tecnologías. Además, muchas veces hay reticencia por parte del sector privado para compartir sus experiencias, en particular las exitosas.

En referencia a los gobiernos, en algunos casos las capacidades técnicas para el diseño de política y los recursos disponibles son escasos. Frecuentemente el personal técnico es muy limitado y dispone de pocos recursos financieros asignados para ejecutar programas de estímulo para la renovación del parte automotor.

Sobre el diseño de política pública. Frecuentemente los marcos regulatorios son obsoletos y tienen poca capacidad de adaptación a los desarrollos tecnológicos. Suele, por otra parte, existir complejidades de las estructuras administrativas y las competencias que dificultan la coordinación intra-gubernamental, al igual que la continuidad en las políticas debido a los ciclos políticos. Es frecuente la falta de coordinación entre entidades del estado. Dado que muchas agencias tienen papeles cruciales, no siempre hay coordinación entre ellas. Más aún, a veces se carece de información técnica sobre como las políticas afectan diferentes sectores, impactos que pueden ser asimétricos.

Otro desafío es la vinculación del sector privado. La falta de educación e información a los consumidores y empresarios sobre el proceso de transición es igualmente determinante. Finalmente, las opciones de financiación son también relevantes. En el sector del transporte también falta más claridad sobre cambios en el modelo de negocios y opciones de financiación. Además, el manejo de la incertidumbre asociadas las nuevas tecnologías.

## 6.2. Oportunidades

En contraposición a las barreras y desafíos antes esbozados, si visualizan varias oportunidades. Por una parte, el precio de las baterías disminuirá: La mayoría de los expertos prevé una reducción (Berckmans et al., 2017 ,BNEF, 2017, IEA, 2017a, Nykvist and Nilsson, 2015 ; UNEP, 2016 ) debido a la competencia y mejoras en procesos. Se espera que los precios bajen a entre 50 y 100 USD/kWh en nuevas tecnologías. BNEF también sugiere que para 2030, las baterías solo representarán el 18% del costo total del vehículo, en comparación con el 48% en 2016.

La matriz energética de la mayor parte de los países de ALC es limpia, al usar solo en algunos casos combustible fósil para la generación. Hay importantes avances en el uso de energía eólica y solar. Ello hace especialmente atractivo y factible la transición hacia vehículos eléctricos y el hidrógeno verde.

Varios países de la región han definido metas específicas y han realizado pilotos que han sido exitosos y pueden replicarse. Se han creado algunos incentivos, especialmente subsidios impositivos y descuentos para facilitar la reposición de flota hacia vehículos eléctricos. Algunos países han definido plazos específicos para la transición a través de leyes. Estos avances se constituyen en oportunidades para la decarbonización del transporte de carga y pasajeros en ALC.

La antigüedad de la flota es una oportunidad. En algunos países de ALC se han definido incentivos para reponer la flota más antigua, incluyendo incentivos tributarios. Ello abre una oportunidad para compatibilizar los planes de renovación de la flota más vieja con incentivos para que ello se logre con fuentes de energía alternativas.

En varios países de ALC (México, Colombia, Brasil, Ecuador, Argentina), hay plantas ensambladoras de vehículos. Se han anunciado planes para adaptar algunas factorías para ofertar vehículos eléctricos. Aunque actualmente la oferta proviene de equipos importados, es posible que en el mediano plazo haya una oferta local que permita reducción de los costos.

## 7. recomendaciones de políticas públicas

El sector transporte puede ser un gran impulsor en la producción de energías renovables. En particular, la producción de hidrógeno verde a partir de fuentes como la energía solar y la eólica.

La oferta de vehículos de baja emisión es amplia (vehículos híbridos, híbridos eléctricos, híbridos enchufables, vehículos de hidrógeno). Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas, que pueden diferir según el contexto. En el planteamiento de políticas públicas es necesario considerar, para cada contexto específico, cual es la más conveniente. Las políticas tienen que considerar la diversidad en las condiciones de los países.

En el caso de camiones y buses de baja capacidad (peso bruto vehicular menor de 20 toneladas), los vehículos eléctricos enchufables parecen ser una apropiada solución. En el caso de los vehículos de mayor tamaño, para viajes interurbanos el hidrógeno se visualiza como la alternativa más conveniente. En cualquier caso, acelerar la transición exige inversiones no solo en estímulos fiscales y subsidios para la adquisición de los vehículos, sino en disponer de una amplia infraestructura para la recarga.

Apropiadas políticas fiscales facilitan la transición. Incentivar la renovación de la flota hacia fuentes de baja o cero emisiones es más factible si se desmontan los subsidios al combustible diésel y a la gasolina. El avance es aún más notorio si se implementan impuestos verdes a los combustibles fósiles. Además, se requiere reasignar los ingresos fiscales de los impuestos. Aquí la política difiere entre países, por lo cual apropiados análisis beneficio costo deberán realizarse en cada caso, además de evaluación de las implicaciones políticas.

La transición debe considerar todo el ciclo de vida útil de las alternativas. En particular los efectos sobre la minería y su impacto, teniendo en cuenta que ALC cuenta con el 70 % de las reservas de litio del mundo. Los biocombustibles son una opción a considerar en etapas iniciales de la transición, al igual que el gas natural; no obstante, compiten con usos alternativos para la agricultura y el uso doméstico.

El acceso a la financiación sigue siendo un cuello de botella para la transición energética en ALC. Es posible plantear esquemas de subsidios cruzados diseñando impuestos a combustibles fósiles que permitan apalancar programas de incentivos para vehículos impulsados por energías limpias. A pesar de diferentes estudios concluyen que invertir en alternativas renovables tiene beneficios económicos a largo plazo, el costo inicial de adquisición sigue siendo una importante barrera, al igual que la falta de infraestructura.

En términos de penetración por categorías de peso, los vehículos ligeros y medianos son seguidos por los pesados, con estos últimos enfrentando desafíos en la distribución a larga distancia. La distribución regional es la primera en lograr igualdad en los costos comparado con los vehículos diésel, debido a baterías iniciales más pequeñas y distancias más cortas. Subvencionar la compra o reducir aranceles podría acelerar la adopción en ALC.

El impacto de los supuestos clave, como la evolución de los precios de combustibles y electricidad, añade incertidumbre al análisis. Es necesario incluir el costo de reemplazo de baterías. Sin embargo, los avances tecnológicos y las garantías de batería mejorarán las posibilidades de adopción de vehículos eléctricos y de hidrógeno (Tanco et al., 2019b).

Se debe considerar la necesidad de crear entidades gubernamentales de coordinación interinstitucional para el sector transporte, o asignar tal responsabilidad a una entidad existente. La entidad debe producir análisis sobre el impacto de la transición en distintos aspectos: rentas fiscales, demanda, tecnologías. La entidad trabajaría en la definición de políticas a largo plazo, que permitan generar confianza entre los involucrados: fabricantes, concesionarios, transportadores, compañías de recarga, servicios técnicos y el sector financiero. La transparencia es fundamental para el éxito en la transición. La información debe ser clara y pública, evitando asimetrías.

Desarrollar apropiada regulación es fundamental. Debe incluir aspectos como tecnologías, estándares, facilidades para estaciones de recarga, servicios de mantenimiento. Los servicios de recarga no son comercialmente viables con bajas tasas de penetración de vehículos eléctricos o de celda de hidrógeno, por lo cual en estados iniciales requieren subsidios. Una apropiada regulación es relevante en etapas iniciales (por ejemplo, exigencias a los expendedores de combustible de disponer de un número mínimo de estaciones de recarga).

Es fundamental programas de entrenamiento y construcción de capacidad. Para ello vincular instituciones de educación, en especial en los niveles técnicos y tecnológico para proveer capacidad técnica. Hay fuentes de trabajo que pueden generarse en la transición energética. Más aún, la región tiene el potencial de desarrollar una industria manufacturera y de soporte y mantenimiento para las nuevas tecnologías.

Para tomar información y lograr experiencia son importante los pilotos: Ellos permiten demostrar los beneficios de las nuevas tecnologías y recoger información relevante. Tener datos sobre información operacional, mantenimiento, emisiones es esencial para disminuir las incertidumbres asociadas a la introducción de tecnologías limpias.

Se requiere desarrollar apropiados modelos de negocios para los operadores, considerando sus características. Seguramente la transición será más fácil en empresas grandes, con mayor músculo financiero que en empresas unipersonales. Sin embargo, es necesario, según el perfil empresarial diseñar modelos de negocios, incluyendo la posibilidad de subsidios a los costos de capital.

Hay que involucrar a otros sectores de la producción, además de los transportadores. Se pueden diseñar incentivos para que generadores de carga prefieran utilizar vehículos de baja emisión. Se debe disponer de servicios de información para los consumidores de la huella de carbono de las empresas. Los registros de emisiones de las empresas pueden hacerse públicos.

En paralelo a la adopción de tecnologías limpias para los vehículos automotores para pasajeros y carga a nivel interurbana, la región debe diversificar la partición modal. Deben realizarse intervenciones para fomentar la multimodalidad y disminuir la dependencia de la carretera.

## 8. Referencias

Agência Nacional De Transportes Terrestres (2022). Anuário Estatístico TRIIP 2022. Recuperado de <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/antt-disponibiliza-o-anuario-estatistico-triip/AnurioEstatsticoTRIIP2022.pdf>

American Trucking Associations (2023) Economics and Industry Data. Extraído de <https://www.trucking.org/economics-and-industry-data>.

Bachmann, C., Chingcuanco, F., MacLean, H., & Roorda, M. J. (2015). Life-cycle assessment of diesel-electric hybrid and conventional diesel trucks for deliveries. *Journal of Transportation Engineering*, 141(4), 05014008.

Barbero, J. A., Fiadone, R., & Millán Placci, M. F. (2020). El transporte automotor de cargas en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo.

Berckmans, G., Messagie, M., Smekens, J., Omar, N., Vanhaverbeke, L., & Van Mierlo, J. (2017). Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030. *Energies*, 10(9), 1314.

Calatayud, A., & Montes, L. (2021). Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción. Banco Interamericano de Desarrollo.

Cantillo, V., Amaya, J., Serrano, I., Cantillo-García, V., & Galván, J. (2022). Influencing factors of trucking companies willingness to shift to alternative fuel vehicles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 163, 102753.

Changing Transport. (2021). The Playbook for Zero Emissions Mobility LAC: Centering Climate Justice in Public Transport by 2035 in the Global South. URL del documento (si está disponible). Recuperado de <https://changing-transport.org/publications/the-playbook-for-zero-emissions-mobility-lac/>

Chile, Ministerio de Transporte (2023). Estructura del Transporte Interurbano de pasajeros. Extraído de <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/transporte-y-comunicaciones/servicio-de-transporte-interurbano-de-pasajeros>

Chile, Ministerio de Energía del Gobierno, “Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde”, (2020), [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_nacional\\_de\\_hidrogeno\\_verde\\_-\\_chile.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf)

Colombia. Ministerio de Transporte. Subdirección Operativa de Transporte Automotor. Grupo de Estudios de Carga. (2000). Parque automotor de transporte de carga en Colombia. Ministerio de Transporte.

Colombia, Ministerio de Transporte (2022). El Transporte en Cifras 2021 Anuario Nacional de Transporte. Bogotá. Extraído de <https://plc.mintransporte.gov.co/Estad%C3%ADsticas/Transporte-en-Cifras>

Colombia, Ministerio de Minas y Energía (2022). Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia. Bogotá. Extraído de [https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf)

Dirección Nacional de Transporte (2022) Anuario Estadístico De Transporte 2020. Recuperado de <https://www.dinatran.gov.py/docum/anuario%202020.pdf>

El Hannach, M., Ahmadi, P., Guzman, L., Pickup, S., & Kjeang, E. (2019). Life cycle assessment of hydrogen and diesel dual-fuel class 8 heavy duty trucks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(16), 8575-8584.

Facanha, C., & Horvath, A. (2007). Evaluation of life-cycle air emission factors of freight transportation. *Environmental science & technology*, 41(20), 7138-7144.

GlobalPetrolPrices.com. (2023). Diesel Prices. Recuperado de [https://www.globalpetrolprices.com/diesel\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/)

Gustafsson, M., Svensson, N., Eklund, M., Öberg, J. D., & 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.

IEA. (2022). *World energy outlook 2022*. Paris, France: IEA.

IEA. *Tracking Transport*; International Energy Agency: Paris, France, 2019.

INEC (2023). Boletín Técnico N° 01-2023-Transporte Anuario de Estadísticas de Transporte, 2022 Estadísticas de Transporte (ESTRA). Recuperado de : [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA\\_2022/2022\\_BOLETIN\\_ESTRA.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA_2022/2022_BOLETIN_ESTRA.pdf)

Instituto Nacional de Estadística (2023). Flujo del Transporte Aereo de Pasajeros por Flujo y Ruta según Año y Mes, 2009 - 2023. Recuperado de <https://www.ine.gov.bo/index.php/estadisticas-economicas/transportes/transporte-cuadros-estadisticos/>

Instituto Nacional de Estadísticas. Chile (2018). *Cifras de Transporte de Carga por Carretera 2018*. Recuperado de [https://www.ine.gov.cl/docs/default-source/estructura-del-transporte-por-carretera/infografias/documentos/infograf%C3%ADa-transporte-de-carga-por-carretera-2018.pdf?sfvrsn=5f38c32\\_2](https://www.ine.gov.cl/docs/default-source/estructura-del-transporte-por-carretera/infografias/documentos/infograf%C3%ADa-transporte-de-carga-por-carretera-2018.pdf?sfvrsn=5f38c32_2)

Instituto Nacional de Estadísticas. Chile (2018). *Cifras de Transporte Interurbano de Pasajeros por Carretera 2018*. Recuperado de [https://www.ine.gov.cl/docs/default-source/servicio-de-transporte-interurbano-de-pasajeros/infografias/documentos/infograf%C3%ADa-transporte-de-pasajeros-por-carretera-2018.pdf?sfvrsn=f567835e\\_4](https://www.ine.gov.cl/docs/default-source/servicio-de-transporte-interurbano-de-pasajeros/infografias/documentos/infograf%C3%ADa-transporte-de-pasajeros-por-carretera-2018.pdf?sfvrsn=f567835e_4)

Instituto Nacional de Estadística y Censo - Panamá (2020). *Transporte Año: 2020*. Recuperado de [https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID\\_PUBLICACION=1103&ID\\_CATEGORIA=4&ID\\_SUBCATEGORIA=22](https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1103&ID_CATEGORIA=4&ID_SUBCATEGORIA=22)

IPCC. (2022). *Transport*. En 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.a ed., pp. 1049-1160). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.012>

Lajevardi, S. M., Aksen, J., & Crawford, C. (2019). Comparing alternative heavy-duty drivetrains based on GHG emissions, ownership and abatement costs: Simulations of freight routes in British Columbia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 76, 19-55.

Marchán, E., & Viscidi, L. (2015). *Green Transportation*.

Ministerio de Transporte (2022). *Transporte en Cifras 2021 Anuario Nacional de Transporte*. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2022). *Anuario Estadístico 2022 (Uruguay)*

Ministerio de Transporte Argentina (2019). *Informe mensual Diciembre 2019*. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/interurbano/Interurbano/12.%20Informe%20Mensual%20Diciembre%202019%20%28INTERURBAN0%29.pdf>

## 8. Referencias

MTC - OGPP - Oficina de Estadística (2022). Estadística - Servicios de Transporte Terrestre por Carretera - Servicios de Carga. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344890-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-servicios-de-carga>

MTC - OGPP - Oficina de Estadística (2022). Estadística - Servicios de Transporte Terrestre por Carretera - Servicios de Pasajeros. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344890-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-servicios-de-carga>

MTC - OGPP - Oficina de Estadística (2022). Parque Vehicular Autorizado de Empresas del Transporte de Pasajeros, según Antigüedad: 2013 - 2022. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344892-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-parque-automotor>

Nykqvist, B., & Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature climate change*, 5(4), 329-332.

Osorio-Tejada, J. L., Llera-Sastresa, E., & Hariza Hashim, A. (2018). Well-to-wheels approach for the environmental impact assessment of road freight services. *Sustainability*, 10(12), 4487.

Pfoser, S. (2022). Decarbonizing Freight Transport: Acceptance and Policy Implications (p. 128). Springer Nature.

Tanco, M., Cat, L., & Garat, S. (2019). A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1354-1367.

Rey, A. F., Cubillos, C. F., Spaggiari, L., Bocarejo, J. P., & Wilmsmeier, G. (2022). ESTUDIO DE SEGUIMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS PILOTOS DE CAMIONES DE BAJAS EMISIONES EN COLOMBIA. Proyecto Giro Zero (UK PACT, Universidad de los Andes, Cardiff University)

Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Estadística. (2022). Anuario Estadístico

Secretaría de Infraestructura, comunicaciones y Transportes. (2022). Anuario Estadístico del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes 2022. Recuperado de [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/DEC-PDF/Anuario\\_2022.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/DEC-PDF/Anuario_2022.pdf)

del Sector Comunicaciones y Transportes Recuperado de [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/DEC-PDF/Anuario\\_2022.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/PDF/DEC-PDF/Anuario_2022.pdf)

Secretaría de Planificación de Transporte. (2020). Descarbonización del Transporte en Argentina: Transporte carretero de cargas. Ministerio de Transporte. Recuperado de <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/descarbonizacion-transporte-argentina-transporte-carretero-cargas.pdf>

Teixeira, A. B., Benavides, J., Rasteletti, A., Rios, I. L. U., & Madrigal, M. (2022). A Framework for the Fiscal Impact of Electromobility. InterAmerican Development Bank.

United Nations (2021). United Nations Climate Change Conference. Glaslow

Viscidi, L., Madrigal, M., Paredes, J., & Mejía, E. (2021). Electric mobility in Central America. Interamerican Development Bank.

World Resources Institute, 2019. Climate Data Explorer. Disponible en: <http://cait.wri.org/>