

# ACCIONES CLAVE PARA DETONAR LA TRANSICIÓN DEL TRANSPORTE DE CARGA EN MÉXICO





## ACCIONES CLAVE PARA DETONAR LA TRANSICIÓN DEL TRANSPORTE DE CARGA EN MÉXICO

La presente publicación se realizó en el marco del proyecto Estrategias para alcanzar un transporte de carga eficiente y de bajas emisiones que realizan la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) en México y la Iniciativa Climática de México.

Esta publicación fue financiada en el marco del proyecto de cooperación bilateral “Programa Transporte Sustentable” (PTS) entre el Gobierno Federal Mexicano y el Gobierno de Alemania, a través de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ), que trabaja por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

**Primera edición 2021.**

**Elaborado en México.**

**PUBLICADA POR:**

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5  
65760 Eschborn/Alemania  
T +49 61 96 79-0  
F +49 61 96 79-11 15  
E info@giz.de  
I www.giz.de

**Agencia de la GIZ en México**

Torre Hemicor, PH, Av. Insurgentes Sur 826, Col. del Valle, Juárez, 03100, Ciudad de México México.  
T +52 55 55 36 23 44  
F +52 55 55 36 23 44  
E giz-mexiko@giz.de  
I <https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html>

**PROGRAMA**

**Programa Transporte Sustentable**

D.R. ©2021 Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**COORDINACIÓN INSTITUCIONAL:**

Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) en México

Stephanie Hartmann | Directora  
Programa Transporte Sustentable (PTS)

Aleithya Morales | Asesora técnica  
Programa Transporte Sustentable (PTS)

**Iniciativa Climática de México (ICM)**

Luisa Sierra | Directora  
Programa de Energía

Erika Ortiz | Gerente  
Programa de Energía

Ricardo Cruz | Gerente  
Programa de Energía

Ilse Ávalos | Investigadora Asociada  
Programa de Energía

**Institut für Energie und Umweltforschung (IFEU)**

Marie Colson | Gerente de proyecto

Florian Heining | Asistente de Investigación

Hinrich Helms | Gerente de proyecto Senior

**Diseño y formación**

Angel Armando Moreno Benítez (ICM)

**DERECHOS DE AUTOR:**

Se permite la reproducción, total o parcial, por razones educacionales o sin ánimo de lucro de esta publicación, sin la autorización especial del portador de los derechos de autor, siempre y cuando la fuente sea citada.

**FORMA DE CITAR:**

GIZ-ICM (2021). Acciones clave para detonar la transición del transporte de carga en México. México.

**POR ENCARGO DEL**

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.



# Contenido

Resumen ejecutivo	<b>7</b>
A. Introducción	<b>14</b>
B. Panorama Internacional	<b>16</b>
B.1. EL ROL DEL SECTOR TRANSPORTE CONTRA LA LUCHA DE CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL INTERNACIONAL	<b>16</b>
B.2. METAS Y AMBICIONES INTERNACIONALES DEL SECTOR TRANSPORTE PARA VEHÍCULOS LIGEROS Y DE CARGA	<b>18</b>
C. Panorama nacional	<b>23</b>
C.1. CONSUMO DE ENERGÍA HISTÓRICO DEL TRANSPORTE	<b>23</b>
C.2. CONFORMACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE	<b>26</b>
C.3. INFLUENCIA DEL TRANSPORTE EN LA SOCIEDAD MEXICANA	<b>33</b>
C.3.1. Regulación del transporte carretero	<b>35</b>
C.4. METAS ESTABLECIDAS PARA EL SECTOR TRANSPORTE CARRETERO	<b>37</b>
C.4.1. Acuerdo de París	<b>37</b>
C.4.2. Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios	<b>38</b>
C.4.3. Programa especial de cambio climático	<b>39</b>
C.5. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SECTOR TRANSPORTE DE CARGA	<b>39</b>
C.6. DISTRIBUCIÓN ESTATAL DEL TRANSPORTE DE CARGA	<b>40</b>
C.7. SITUACIÓN DE LA LOGÍSTICA DEL TRANSPORTE DE CARGA NACIONAL	<b>41</b>
C.8. INSTRUMENTOS DE TRANSPORTE DE CARGA	<b>43</b>
D. Metodología para el cálculo de emisiones	<b>44</b>
E. Escenario tendencial	<b>47</b>
E.1. METODOLOGÍA	<b>48</b>
E.1.1. Transporte de pasajeros	<b>48</b>
E.1.2. Transporte de carga	<b>50</b>
E.2. RESULTADOS DEL ESCENARIO TENDENCIAL	<b>52</b>
E.3. CONCLUSIONES	<b>55</b>
F. Medidas evaluadas para el escenario bajo en emisiones	<b>56</b>
F.1. METODOLOGÍA	<b>57</b>
F.2. MEDIDAS EVALUADAS	<b>58</b>
F.2.1. Medidas de evitar y reducir	<b>59</b>
F.2.2. Medidas de cambiar y mantener	<b>62</b>
F.2.3. Medidas de mejorar	<b>67</b>
F.2.4. Medidas mejorar a través de la eficiencia energética	<b>69</b>
F.3. PRINCIPALES ACTORES DEL TRANSPORTE	<b>72</b>

G. Escenario bajo en emisiones	<b>75</b>
G.1. INTRODUCCIÓN	<b>76</b>
G.2. EVITAR	<b>77</b>
G.2.1. Adopción parcial de actividades en línea	<b>77</b>
G.2.2. Optimización de las rutas de transporte público en zonas metropolitanas	<b>77</b>
G.2.3. Sistemas de coordinación para el transporte de carga	<b>77</b>
G.2.4. Incremento de la capacidad de carga de los tractocamiones y camiones de carga	<b>77</b>
G.2.5. Optimización en las entregas de última milla	<b>78</b>
G.2.6. Carriles especiales de vehículo compartido	<b>78</b>
G.2.7. Impactos y evaluación de las medidas evitar y reducir en el escenario bajo en emisiones	<b>79</b>
G.3. CAMBIAR	<b>79</b>
G.3.1. Programa de planeación urbana y sistemas de transporte integrados	<b>79</b>
G.3.2. Reparto modal del transporte de carga carretero a ferrocarril	<b>80</b>
G.3.3. Cambio de camiones unitarios por tractocamiones	<b>80</b>
G.3.4. Sistema de bicicletas públicas	<b>80</b>
G.3.5. Impactos y evaluación de las medidas cambiar y mantener en el escenario bajo en emisiones	<b>81</b>
G.4. MEJORAR	<b>81</b>
G.4.1. Programa de chatarrización para el transporte de carga	<b>81</b>
G.4.2. Cursos técnicos-económicos (eco-driving)	<b>82</b>
G.4.3. Bicicletas de carga (cargo-bikes)	<b>82</b>
G.4.4. Automóviles y camiones híbridos	<b>82</b>
G.4.5. Renovación de la flota de vehículos ligeros particulares	<b>83</b>
G.4.6. Vehículos eléctricos de baterías	<b>83</b>
G.4.7. Camiones de celdas de combustible de hidrógeno	<b>85</b>
G.4.8. Impactos y evaluación de las medidas mejorar en el escenario bajo en emisiones	<b>85</b>
G.5. DIFICULTAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS	<b>86</b>
G.6. RESULTADOS GENERALES DEL ESCENARIO BAJO EN EMISIONES	<b>87</b>
G.6.1. Corto plazo	<b>92</b>
G.7. INSTRUMENTOS POLÍTICOS COMPLEMENTARIOS Y SUPUESTOS CONSIDERADOS	<b>94</b>
H. Recomendaciones	<b>96</b>
H.1. RECOMENDACIONES GENERALES	<b>96</b>
H.2. RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA EL TRANSPORTE DE CARGA	<b>98</b>
I. Conclusiones	<b>100</b>
Definiciones	<b>102</b>
J. Anexos	<b>103</b>
J.1. METODOLOGÍA	<b>103</b>
J.2. FICHAS METODOLÓGICAS DE CADA MEDIDA	<b>108</b>
K. Referencias	<b>141</b>



## Tabla

<b>Tabla 1.</b> Resumen de anuncios de las armadoras automotrices.	<b>21</b>	<b>Tabla 10.</b> Definición de las categorías de vehículos.	<b>103</b>
<b>Tabla 2.</b> Proyectos de transporte público limpio con hidrógeno en la Unión Europea.	<b>22</b>	<b>Tabla 11.</b> Ocupación promedio, porcentaje por tipo de combustible y distancia anual promedio por categoría de vehículo.	<b>104</b>
<b>Tabla 3.</b> Proyectos de transporte público limpio con hidrógeno en la Unión Europea.	<b>30</b>	<b>Tabla 12.</b> Toneladas de carga máximas por vehículo y distribución por tipo de combustible.	<b>105</b>
<b>Tabla 4.</b> Normas Oficiales Mexicanas vigentes referentes a la regulación de contaminantes por tipo de vehículo.	<b>36</b>	<b>Tabla 13.</b> Consumo de combustible en litros/100 km para el escenario tendencial (transporte de pasajeros).	<b>105</b>
<b>Tabla 5.</b> Estructura empresarial del autotransporte de carga, 2019.	<b>42</b>	<b>Tabla 14.</b> Consumo de combustible en l/100 km para el escenario tendencial (transporte de carga).	<b>106</b>
<b>Tabla 6.</b> Características de los sistemas de bicicleta pública en diversas ciudades europeas.	<b>65</b>	<b>Tabla 15.</b> Consumo de energía de distintas tecnologías (transporte de pasajeros): unidades: litro de gasolina/100km para HEV, kWh/100km para BEV y kg H2/100km para FCEV.	<b>106</b>
<b>Tabla 7.</b> Recomendación de actores involucrados en cada medida.	<b>72</b>	<b>Tabla 16.</b> Consumo de energía de las tecnologías alternativas (transporte de mercancías): unidades: litro de gasolina/100km para HEV, kWh/100km para BEV, kg H2/100km para FCEV.	<b>107</b>
<b>Tabla 8.</b> Año propuesto de ventas totales de vehículos eléctricos de baterías por categoría de vehículo.	<b>83</b>		
<b>Tabla 9.</b> Niveles de dificultad y costos de implementación por estrategia de mitigación.	<b>86</b>		

## Figuras

<b>Figura 1.</b> Emisiones del sector transporte por modo en 2018.	<b>17</b>	<b>Figura 8.</b> Ventas de vehículos ligeros.	<b>27</b>
<b>Figura 2.</b> Instrumentos normativos recientes que promueven alternativas sostenibles a los viajes en automóvil en las principales ciudades.	<b>19</b>	<b>Figura 9.</b> Ventas anuales nacionales de vehículos ligeros híbridos y eléctricos.	<b>28</b>
<b>Figura 3.</b> Metas de electromovilidad propuestas por distintos países.	<b>20</b>	<b>Figura 10.</b> Ventas de vehículos ligeros con tecnología híbrida y eléctrica.	<b>28</b>
<b>Figura 4.</b> Consumo nacional de combustible en el sector transporte por modo de transporte	<b>24</b>	<b>Figura 11.</b> Distribución de ventas de vehículos ligeros eléctricos.	<b>29</b>
<b>Figura 5.</b> Consumo nacional de energía del sector transporte por tipo de combustible al año 2018.	<b>25</b>	<b>Figura 12.</b> Red troncal de electrolineras y estados a conectar.	<b>31</b>
<b>Figura 6.</b> Distribución de la flota y consumo de energía por tipo de combustible	<b>25</b>	<b>Figura 13.</b> Cargadores públicos para vehículos eléctricos por entidad federativa registrados hasta julio 2021.	<b>32</b>
<b>Figura 7.</b> Consumo de energía por combustible, 1990 – 2019.	<b>26</b>	<b>Figura 14.</b> Ubicación de cargadores públicos existentes.	<b>32</b>
		<b>Figura 15.</b> Vehículos de motor registrados, 1980 – 2019.	<b>34</b>

<b>Figura 16.</b> Accidentes en transporte terrestre por vehículo involucrado.	<b>34</b>	<b>Figura 32.</b> Distribución de toneladas transportadas por ferrocarril periodo 1994–2019.	<b>64</b>
<b>Figura 17.</b> Parque vehicular histórico del transporte de carga.	<b>40</b>	<b>Figura 33.</b> Costos del servicio de carga por modo de transporte.	<b>64</b>
<b>Figura 18.</b> Unidades vehiculares por entidad federativa en 2020	<b>41</b>	<b>Figura 34.</b> Eficiencia de tecnologías alternas.	<b>68</b>
<b>Figura 19.</b> Personal ocupado en el autotransporte de carga (miles de personas).	<b>42</b>	<b>Figura 35.</b> Proyección de flota para automóviles de pasajeros.	<b>84</b>
<b>Figura 20.</b> Emisiones incluidas en cada método.	<b>45</b>	<b>Figura 36.</b> Proyección de flota para tractocamiones combinados de largo recorrido.	<b>84</b>
<b>Figura 21.</b> Marco ASIF para el cálculo de emisiones de transporte.	<b>46</b>	<b>Figura 37.</b> Proyección hasta 2050 del escenario tendencial y el bajo en carbono por grupo de medida.	<b>88</b>
<b>Figura 22.</b> Kilómetros recorridos por tipo de vehículo de pasajeros y año	<b>49</b>	<b>Figura 38.</b> Emisiones GEI del escenario tendencial y las contribuciones de reducción por cada paquete de medidas para 2050.	<b>88</b>
<b>Figura 23.</b> Pasajeros-kilómetro totales por tipo de vehículo y año	<b>49</b>	<b>Figura 39.</b> Emisiones de GEI por categoría de vehículo y escenario para el 2030–2040 y 2050.	<b>89</b>
<b>Figura 24.</b> Kilómetros anuales por categoría de vehículo de carga.	<b>50</b>	<b>Figura 40.</b> Interacción entre paquetes de medidas para los vehículos particulares y su potencial de reducción en consumo de energía para 2050.	<b>89</b>
<b>Figura 25.</b> Toneladas-kilómetro por categoría de vehículo y año.	<b>51</b>	<b>Figura 41.</b> Interacción entre paquetes de medidas para los vehículos pesados de carga y su potencial de reducción en consumo de energía para 2050.	<b>90</b>
<b>Figura 26.</b> Inventario de emisiones GEI para el transporte carretero 2016.	<b>52</b>	<b>Figura 42.</b> Emisiones de partículas suspendidas (PM) 2.5 por categoría de vehículo y escenario para 2030 y 2050.	<b>91</b>
<b>Figura 27.</b> Emisiones GEI del escenario tendencial.	<b>53</b>	<b>Figura 43.</b> Emisiones de contaminantes criterio por tipo de vehículo.	<b>92</b>
<b>Figura 28.</b> Emisiones GEI por persona-kilómetro por modo de transporte de pasajeros	<b>54</b>	<b>Figura 44.</b> Factores de emisión para electricidad y producción de hidrógeno	<b>95</b>
<b>Figura 29.</b> Emisiones GEI por persona-kilómetro por modo de transporte de carga.	<b>54</b>	<b>Figura 45.</b> Curvas de supervivencia por vehículo.	<b>107</b>
<b>Figura 30.</b> Metodología ASI para la reducción de emisiones en el sector transporte.	<b>58</b>		
<b>Figura 31.</b> Toneladas-kilómetro transportada por Petajoules consumido por modo de transporte.	<b>63</b>		





# Resumen ejecutivo

## ANTECEDENTES

El incremento de los efectos del cambio climático, la problemática de la mala calidad del aire, la expansión urbana, la congestión vehicular, así como otros factores, impulsan al sector transporte a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, así como los contaminantes criterio que afectan la calidad del aire. Actualmente, este sector es responsable del 24% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) globales del sector energía y se estima que para 2050 aumente un 75%, lo que generará mayores consecuencias relativas al calentamiento global y a la calidad de vida.

Por otro lado, cada vez existe un mayor interés desde los gobiernos locales hasta los países y regiones en desarrollar estrategias de transporte sostenible. Esto implica la inclusión medidas o metas relativas a la eficiencia del transporte en sus planes de desarrollo y así, reducir las emisiones de GEI mientras favorecen la movilidad y se promueve el crecimiento económico.

Por lo anterior, en el marco del proyecto Estrategias para alcanzar un transporte de carga eficiente y de bajas emisiones realizado por la Iniciativa Climática de México (ICM) gracias al apoyo de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) en México a través de su Programa de Transporte Sustentable (PTS) se presenta el documento "Acciones clave para detonar la transición del transporte de carga en México" en el que se realiza un análisis de las medidas que pueden ser instrumentadas en el sector transporte carretero, con énfasis en el transporte de carga, para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio. Este documento se presenta como un documento de apoyo para el desarrollo de políticas públicas y como una fuente de insumos técnicos.

Este estudio contó con el apoyo del instituto ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung; instituto de investigación energética y ambiental, Alemania) para el desarrollo del escenario tendencial y el escenario bajo en emisiones para el transporte mexicano, proporcionando su experiencia en contabilidad de emisiones y definición de escenarios. Estas actividades se llevaron a cabo con la herramienta Mobilise Your City (MYC), un modelo que permite hacer una proyección de flota y emisiones. Adicionalmente, también se utilizó el modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). Este es un sistema de modelación que cuenta con una base de datos del sector transporte carretero y estima únicamente las emisiones del tanque a la

rueda que son las requeridas para los inventarios de emisiones de fuentes móviles. La utilización de ambas herramientas permite que este estudio cuente con resultados no solo del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero, sino también de contaminantes criterio y tóxicos asociados con la operación del vehículo.

El documento parte de un diagnóstico donde se presentará su crecimiento histórico y su importancia en la economía del sector transporte, además de la identificación de actores clave que influyen tanto en el diseño de políticas del sector, así como en su renovación y eficiencia. Posteriormente, se hace una proyección de su crecimiento hasta 2050 de manera tendencial, utilizando datos públicos e información bibliográfica internacional, con el objetivo de obtener el crecimiento de la flota vehicular por cada una de las categorías de vehículos que lo conforman, dividido por tipo de combustible.

Posteriormente, se presenta el desarrollo de un escenario bajo en carbono donde se incluyen medidas que harán el sector transporte carretero más sustentable. Los resultados se presentan para emisiones y consumo de energía, así como crecimiento de la flota y los kilómetros recorridos, todo lo anterior por categoría vehicular. Para lo anterior, se evaluaron 17 medidas, clasificadas bajo el enfoque Evitar-Cambiar-Mejorar (ASI, por sus siglas en inglés) las cuales se distribuyen de la siguiente manera: seis corresponden al grupo de **Evitar**, cuatro en **Cambiar** y siete en **Mejorar**. Las medidas de mitigación del escenario bajo en carbono se desarrollaron con base a distintos supuestos considerados e información pública que se analizó, así como de literatura internacional con casos de estudio que estiman de manera cuantitativa los beneficios ambientales de su inclusión.

Finalmente, se presentan una serie de recomendaciones para la transición del sector autotransporte con base en los resultados obtenidos y las medidas evaluadas. Cabe mencionar que en ciertas secciones se resaltan puntos clave y conclusiones específicas.

## PANORAMA NACIONAL DEL SECTOR TRANSPORTE CARRETERO Y DE CARGA

En términos generales, en México, el sector transporte es el mayor generador de emisiones de GEI debido a la quema de combustibles fósiles. Esto debido a que el transporte carretero tuvo mayor consumo de energía, por encima la requerida para toda la industria nacional. De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2019 (INEGYCEI), el sector transporte es responsable de la emisión de 20% de los GEI totales en el país y 15% del carbono negro. De esos porcentajes, el autotransporte es el mayor generador abarcando el 92% de emisiones GEI y el 97% del carbono negro.

Lo anterior está directamente relacionado con el consumo de combustible que se realiza en el sector. Un análisis más detallado por tipo de combustible muestra que la gasolina y nafta siguen destacando por su mayor uso, al contrario de gas natural (o gas seco) y electricidad. Los datos de 2018 reflejan que las gasolinas y naftas representan el 65% del consumo total de energía, seguido por el uso del diésel, mientras que la penetración de automóviles cuyo combustible es la electricidad o el gas seco es menor a 1%.

Respecto a la importancia económica, el sector de transportes, comunicaciones, correo y almacenamiento comprendió el 5.24% del total de la población ocupada para 2018. Sin embargo, en proporción al PIB es responsable del 6.48%. Si bien, es un gran contribuidor a la economía nacional, el sector requiere de incrementar la inversión. Las inversiones nacionales en infraestructura terrestre promedio fueron un 0.6% del PBI en los últimos años, mientras que el promedio de Latinoamérica es 1.1%. Sin embargo, para alcanzar el promedio mundial actual, México debería invertir el 2.7% del PIB, lo que nos indica que se está invirtiendo muy poco en mejora de viales y carreteras para mejora de la seguridad de los usuarios. Se requiere que este porcentaje se incremente, dado que la introducción de otras tecnologías, tanto en el corto como el largo plazo, tales como vehículos eléctricos y de celdas de combustible, requerirán una inversión mayor para el desarrollo de infraestructura de recarga.

El crecimiento nacional, tanto en términos de población como en términos económicos, generarán una presión en el sector transporte. Actualmente, el modo carretero es el de mayor utilización en el país tanto para carga como para pasajeros, siendo responsable de la movilización del 56% de la carga y del 95% del total de pasajeros. Estos porcentajes se ven reflejados en un alto número de vehículos y emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta situación se mantendrá en el corto y largo plazo, por lo que urge a evaluar medidas que sean sustentables para su instrumentación. El 80% de la población se localiza en comunidades urbanas, las cuales tienen mayor acceso a diferentes



opciones de transporte público e infraestructura de mayor calidad, pero también a servicios donde se requiere la movilización, como es el caso de los servicios de comida a domicilio o paquetería. Como consecuencia, el índice nacional de vehículos registrados por cada mil habitantes pasó de 121 en 1990 a 400 en 2020 (INEGI, 2021c). Esto indica que de 1990 a 2020 el parque vehicular creció a una tasa anual del 5.6%, mientras que la población lo hace a una tasa del 1.5%. En 1990 los vehículos registrados eran 9.8 millones y para 2019 dicho valor se multiplicó por 4.1 llegando a 50 millones. Por tipo de vehículo, podemos observar que hay 34.5 millones de vehículos de pasajeros registrados y 11 millones de vehículos de carga. Además, la tasa de crecimiento anual más baja es la del transporte de carga (4.4%) y la más alta es la de motocicletas (10.7%), indicando que la penetración de las motocicletas ha sido la de mayor crecimiento en las últimas décadas (específicamente a partir del año 2000), esto es dada su pronta penetración al mercado y el precio de la tecnología, sin embargo, en temas de seguridad, no es la mejor opción para el usuario.

Todo lo anterior debe ser tomado en cuenta al momento del desarrollo de políticas públicas que ayuden a mejorar el sector, fomenten la economía y coadyuven al cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de cambio climático.

## RESULTADOS

Para la evaluación del impacto de la instrumentación de medidas en el sector carretero y de carga se generó un escenario bajo en carbono. En dicho escenario se evaluó en términos de reducción de emisiones y consumo energético la instrumentación de diecisiete medidas de mitigación agrupadas en tres grupos clasificados de acuerdo con la metodología Evitar-Cambiar-Mejorar (ASI, por sus siglas en inglés).

En la categoría *Evitar* se agrupan medidas como logística, coordinación y aumento de carga en el transporte de carga, optimización en las entregas de última milla y en las rutas del transporte público, carriles de vehículo compartido y adopción de actividades en línea. Mientras que en las del grupo de *Cambiar* se encuentran el cambio modal del transporte de carga carretero a ferroviario, programas de planeación urbana y sistemas de transporte integrado, sistemas de bicicletas compartidas y sustitución de camiones unitarios por tractocamiones. En el tercer grupo referente a *Mejorar* se cuenta con los cursos de capacitación de conducción ecológica (*eco-driving*), la mejora en la eficiencia del motor de combustión interna para vehículos ligeros, el programa de chatarrización para el transporte de carga pesado, las bicicletas cargo e inclusión de tecnologías como vehículos eléctricos de baterías y vehículos eléctricos de celdas de combustible de hidrógeno.

La implementación de todas estas medidas agrupadas representa una reducción del 19% de emisiones GEI para el 2030 y de 75% para el año 2050 respecto a la línea

base. Los resultados del escenario bajo en carbono se podrían cumplir siempre y cuando se cuente con las condiciones habilitadoras que impulsen su crecimiento.

En términos generales, en un periodo de corto plazo (hasta 2030) las mejoras en términos de eficiencia energética son clave para alcanzar el ahorro estimado, puesto que la mitad de reducción para este año corresponden a estas medidas (medidas en la categoría *Evitar y Cambiar*). Por otro lado, para el 2050, los mayores ahorros serán por las medidas de mejora tecnológica (*Mejorar*). Sin embargo, es importante destacar que para lograr la reducción de ese 75% planteado para el 2050, se requiere como primer paso cumplir a medida de lo posible con las acciones *evitar/cambiar* las cuales son aquellas que tienen menor costo y menor dificultad de implementación.

La implementación de estas medidas no sólo se reflejó en la mitigación de los contaminantes GEI sino también en contaminantes criterio; para ello, se estimó que los óxidos de nitrógeno (NOx) serían 65% más bajos y las partículas suspendidas (PM) 2.5 y 10 un 46% comparado con el escenario tendencial en 2050, donde su principal contribuidor es el transporte de carga pesada.

## RECOMENDACIONES

Para una transición de un sector transporte bajo en emisiones, se recomienda lo siguiente:

- Comenzar con la pronta implementación de las medidas de evitar/cambiar las cuales son de bajo costo y con relativa baja dificultad de implementación. Los resultados de su pronta instrumentación podrían significar una reducción de emisiones en 2050 de 21% respecto a la línea base, lo cual es clave para alcanzar los compromisos planteados por México. En este paquete de medidas se incluyó la adopción de actividades en línea, como una opción a seguir implementándose y aprovechar la adopción que se tuvo durante la pandemia, para obtener beneficios en reducción de viajes y consumo de combustible.
- Sin embargo, dentro de este paquete se identifican ciertas medidas donde aún no se cuenta con información nacional específica que fortalezca los potenciales estimados, por lo que se sugiere trabajarlas en conjunto con los gobiernos locales y estatales desarrollando proyectos piloto que ayuden a cuantificar los ahorros obtenidos. Este es el caso de las medidas de sistemas de coordinación de transporte de carga y optimización en las entregas de última milla.
- Para la correcta implementación de estas medidas, se identifica que se requiere tener información acerca de las rutas utilizadas, la saturación de

ciertos puntos, su flota vehicular, entre otros, para conocer los beneficios a nivel ambiental, económico y social, así como las barreras.

- De esta manera, los responsables de política pública podrían identificar los requerimientos de infraestructura, incentivos a actores, así como montos de inversión para su correcta implementación. Se sugiere que para esto se inicie con mesas de diálogo entre los actores de gobiernos estatales y locales y actores privados relacionados con la logística para formar alianzas que les permitan generar acuerdos de intercambio de información.
- Fortalecer y expandir el programa de eco-conducción como el Programa de Transporte Limpio, generando alianzas con actores del ámbito público y privado en distintas escalas, además generar políticas e incentivos que respalden su implementación en el largo plazo.
- Los esquemas para la renovación del parque vehicular deben definirse dentro del marco normativo, como el Decreto publicado en 2015 que fomentaba la renovación del parque vehicular del autotransporte, el trabajo en conjunto entre las instituciones públicas y de banca generó buenos resultados.
- Los mapas de rutas tecnológicas son fundamentales para impulsar la eficiencia del transporte de carga pesada y que se implementen las acciones prioritarias durante este periodo.
- Paralelamente, se recomienda la revisión y/o generación de las normas aplicables a transporte con mayor eficiencia, con el fin de buscar áreas de oportunidad y mejora. Este proceso debe ir acompañado de la generación de incentivos y esquemas financieros para poder tener acceso a las tecnologías más eficientes.
- Por otro lado, es importante establecer medidas para la realización de prácticas de inspección y mantenimiento en flotas subnacionales que permitan identificar transporte con bajo rendimiento. A nivel federal se debe coadyuvar en el desarrollo y diseño de estas medidas con cada uno de los estados dado que cada uno tiene sus características sociodemográficas y económicas que hacen que la implementación tenga características específicas.
- El aprovechamiento del potencial máximo de reducción requiere la generación de una estrategia integral que se base en la implementación de la mayor cantidad de medidas del sector transporte y cubrir cada una de las condiciones habilitadoras que influyen en su desempeño.
- Se recomienda tener un sistema de seguimiento, monitoreo y actualización a la estrategia mencionada y contar con la información más reciente que permita realizar diagnósticos actualizados y propuestas.



- Finalmente, es importante que la implementación este acompañada de un diseño de campañas de difusión de los resultados y hallazgos obtenidos en la estrategia entre las y los tomadores de decisiones, así como entre actores beneficiados para propiciar un mayor interés dentro del sector permitiendo abrir el diálogo a diversos puntos de vista e ideas.

# A. Introducción

El sector del transporte en México, al igual que en la mayoría de otros países, ha presentado un crecimiento importante durante las últimas décadas a consecuencia de factores como demografía, urbanización, aspectos sociales y culturales. Además, es uno de los pilares en el crecimiento económico del país, ya que es el principal modo de transporte que moviliza a los pasajeros y a las mercancías a lo largo del país y dentro de las distintas regiones nacionales.

En términos de demografía y urbanización, el país ha mostrado un crecimiento tendencial de población urbana, pasando de 43% en 2050, un 71% en 1990 a un 79% en 2020 (INEGI, 2021a). Sin embargo, el área de las ciudades se ha expandido seis veces de 1980 a 2010, desarrollando ciudades con menores densidades poblacionales y trayectos más largos para intercomunicarse (SEDESOL, 2012). Por otro lado, la ubicación geográfica del país, colindando con Estados Unidos y el resto de Latinoamérica y teniendo acceso a dos océanos que lo comunican con Europa y Asia, lo hace atractivo para mercados tanto regionales como internacionales, por lo que el transporte de carga juega un papel importante en el suministro de bienes básicos, lo cual se ve reflejado en el PIB nacional.

Es necesario que cualquier estrategia planteada para este sector, ya sea en términos de expansión, mejora tecnológica y logística, así como de regulación, tome en consideración que no solo es uno de los más importantes económicamente, por lo que su desempeño repercute en toda la sociedad, si no que también es de los principales generadores de emisiones de GEI y contaminantes criterio que afectan la calidad del aire.

En el Acuerdo de París se estableció no exceder los 2°C la temperatura promedio del planeta para finales de siglo, con el objetivo de cumplir esta meta, cada país planteó sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) que son compromisos de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para 2030. En el caso de México, se estableció una reducción de emisiones específica para el sector transporte de un 18% (INECC, 2018), donde principalmente sus acciones están enfocadas al transporte carretero, como por ejemplo la actualización de la NOM-063 de vehículos ligeros o la incorporación de vehículos híbridos. Cabe mencionar que dicha meta se incluye en la Ley General de Cambio Climático en su segundo artículo transitorio (DOF, 2020).

Si bien, a nivel nacional se han realizado esfuerzos para la reducción de emisiones en el sector transporte, aún se requiere fortalecer las políticas y el marco regulatorio del sector y desarrollar estrategias y metas a largo plazo. Esto con el objetivo de transitar hacia una ruta sustentable y alcanzar las metas de mitigación propuestas tanto para vehículos ligeros, pero sin dejar a un lado la contribución que se puede lograr con medidas dirigidas a los vehículos pesados.

Por lo anterior, en el marco del proyecto Estrategias para alcanzar un transporte de carga eficiente y de bajas emisiones realizado por la Iniciativa Climática de México (ICM) gracias al apoyo de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) en México a través de su Programa de Transporte Sustentable (PTS) se presenta el documento “Acciones clave para detonar la transición del transporte de carga en México” en el que se realiza un análisis de las medidas que pueden ser instrumentadas en el sector transporte carretero, con énfasis en el transporte de carga, para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio. Este documento se presenta como un documento de apoyo para el desarrollo de políticas públicas y como una fuente de insumos técnicos.

Este estudio contó con el apoyo del instituto ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung; instituto de investigación energética y ambiental, Alemania) para el desarrollo del escenario tendencial y el escenario bajo en emisiones para el transporte mexicano, proporcionando su experiencia en contabilidad de emisiones y definición de escenarios. Estas actividades se llevaron a cabo con la herramienta Mobilise Your City (MYC), un modelo que permite hacer una proyección de flota y emisiones.

El documento se divide en distintas secciones. La primera sección muestra el panorama internacional y nacional que menciona la situación del transporte carretero en estos dos niveles. En el panorama nacional se analiza cómo está distribuido el consumo por tipo de combustible y modo de transporte, las ventas de vehículos por tipo de tecnología y su contribución al cambio climático. Además, se presenta un apartado específico para el transporte de carga, como su contribución en el PIB nacional, así como su distribución de la flota vehicular por tamaño de empresa. La siguiente sección presenta los dos escenarios analizados: el escenario tendencial y el escenario bajo en emisiones. El escenario tendencial nacional se proyecta al año 2050, separado por tipo de vehículo (ligero y pesado) y uso (pasajero o carga), presentando el análisis para distintos contaminantes y consumo de energía. Adicionalmente, se presenta la metodología utilizada y una serie de medidas de mitigación seleccionadas para las categorías de vehículos, incluyendo su penetración en el corto (2030) y largo plazo (2050) e indicando las consideraciones analizadas para la penetración modelada.

Para el desarrollo de los escenarios se utilizaron dos modelos para la descarbonización del sector transporte, el modelo MobiliseYourCity Emissions Calculator (MYC) desarrollado por ifeu y el modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

Finalmente, en la última sección, se hace una recapitulación de los resultados generales de los escenarios evaluados, y se concluye con recomendaciones y conclusiones identificadas para continuar mejorando la transición de este sector.

# B.

## Panorama Internacional

### **B.1. EL ROL DEL SECTOR TRANSPORTE CONTRA LA LUCHA DE CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL INTERNACIONAL**

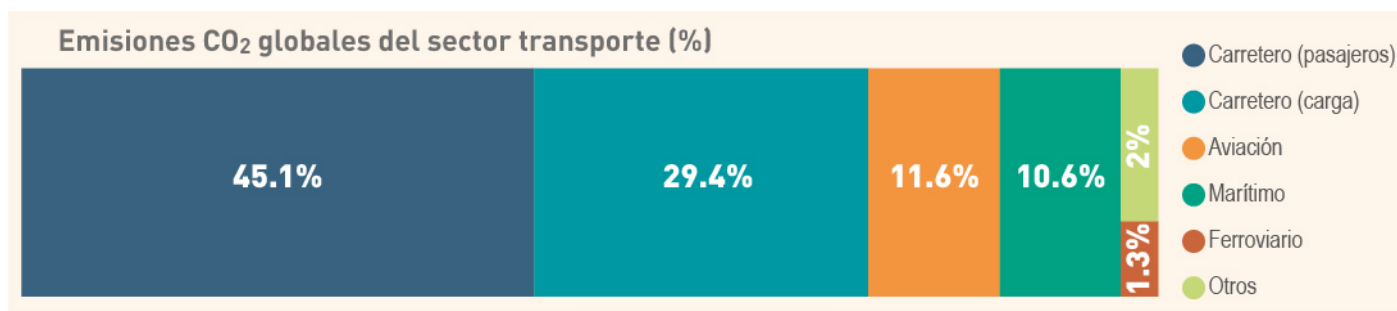
El sector transporte mejora la actividad económica y es fundamental para el bienestar humano, sin embargo, también genera impactos negativos en el medio ambiente y en la salud de la población, principalmente en las urbes urbanas, dado su impacto en la generación de gases de efecto invernadero, ruido, consumo de energía fósil y ocupación de espacio.

A nivel global, el sector transporte es el rubro con mayor crecimiento en las últimas décadas en emisiones de gases de efecto invernadero. Esto debido a su mayor consumo de combustibles fósiles y su quema en la operación. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) en 2020, 95% del consumo de energía del transporte proviene de combustibles fósiles (IEA, 2021), los cuales generan contaminantes como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NOX) e hidrocarburos (HC) que afectan a la calidad del aire y son retenidos en la superficie terrestre contribuyendo al cambio climático.

Actualmente, la contribución del transporte en las emisiones GEI es alrededor de una cuarta parte de las emisiones totales del sector energía. De 2010 a 2019 las emisiones globales crecieron un 17.2%, comparado con los sectores de generación de energía, industria y edificaciones, tuvo el mayor crecimiento (SLOCAT, 2021). Este crecimiento no se distribuyó de manera homogénea en todos los países, ya que los países miembros de la OCDE aumentaron sus emisiones un 4% mientras que los que no son miembro, que está conformado principalmente con países en vías de desarrollo, un 34%.

Del total de emisiones del sector transporte, se puede observar que al igual que en México, las principales emisiones son del autotransporte, puesto que en 2018 casi tres cuartos de las emisiones GEI fueron responsabilidad del transporte carretero, principalmente el transporte de pasajeros, seguido por aviación y marítimo.

Figura 1. Emisiones del sector transporte por modo en 2018.



Fuente: Ritchie, 2020.

Para el año 2020, el ICCT indicó que se generaron 12 GtCO<sub>2</sub>e, pero para 2050 se estima que de manera tendencial serían 21 Gt CO<sub>2</sub>e únicamente en transporte, es decir que en 30 años casi se duplicarán las emisiones actuales (ICCT, 2020). Esto indica que el ritmo de crecimiento de las emisiones se está acelerando, tomando en cuenta las tasas reportadas de 2010 a 2019.

Un desglose de las emisiones del sector transporte muestra que el transporte de carga tiene una participación relevante. En 2017, a pesar de que el transporte de carga únicamente abarca el 5% de la flota total, contribuyó al 42% del total de emisiones GEI (SLOCAT, 2021).

Esta situación impacta en la salud y en los costos asociados. Se estima que el costo anual por daños a la salud causado por las emisiones del transporte en 2015 fue de 1 billón de dólares (ICCT, 2020). Es por ello por lo que mejorar la eficiencia del sector transporte de carga es clave para alcanzar las metas de mitigación. Un ejemplo es el cambio a modos de transporte más eficiente, como el ferrocarril, ya que es uno de los modos más eficientes tanto pasajeros como para carga desde el punto de vista energético, mientras que este sector transporta el 8% de los pasajeros del mundo y el 7% del transporte mundial de mercancías, representó en 2016 sólo el 2% de la demanda total de energía para el transporte (IEA, 2019).

## **B.2. METAS Y AMBICIONES INTERNACIONALES DEL SECTOR TRANSPORTE PARA VEHÍCULOS LIGEROS Y DE CARGA**

En todo el mundo, los gobiernos nacionales y las autoridades locales están incorporando unidades de transporte público más limpias y se están comprometiendo a prohibir los vehículos contaminantes. Esto es un intento por reducir el impacto perjudicial de un sector que continúa creciendo tendencialmente.

Distintos países han establecido metas para el sector transporte, muchos de ellos enfocados a la tecnología de la flota en circulación y otros a mejoras continuas o específicamente a cierto tipo de vehículo. Actualmente, 81 países, que contribuyen al 74% de las emisiones mundiales de GEI han comunicado un objetivo neto cero (Climate Watch, 2021).

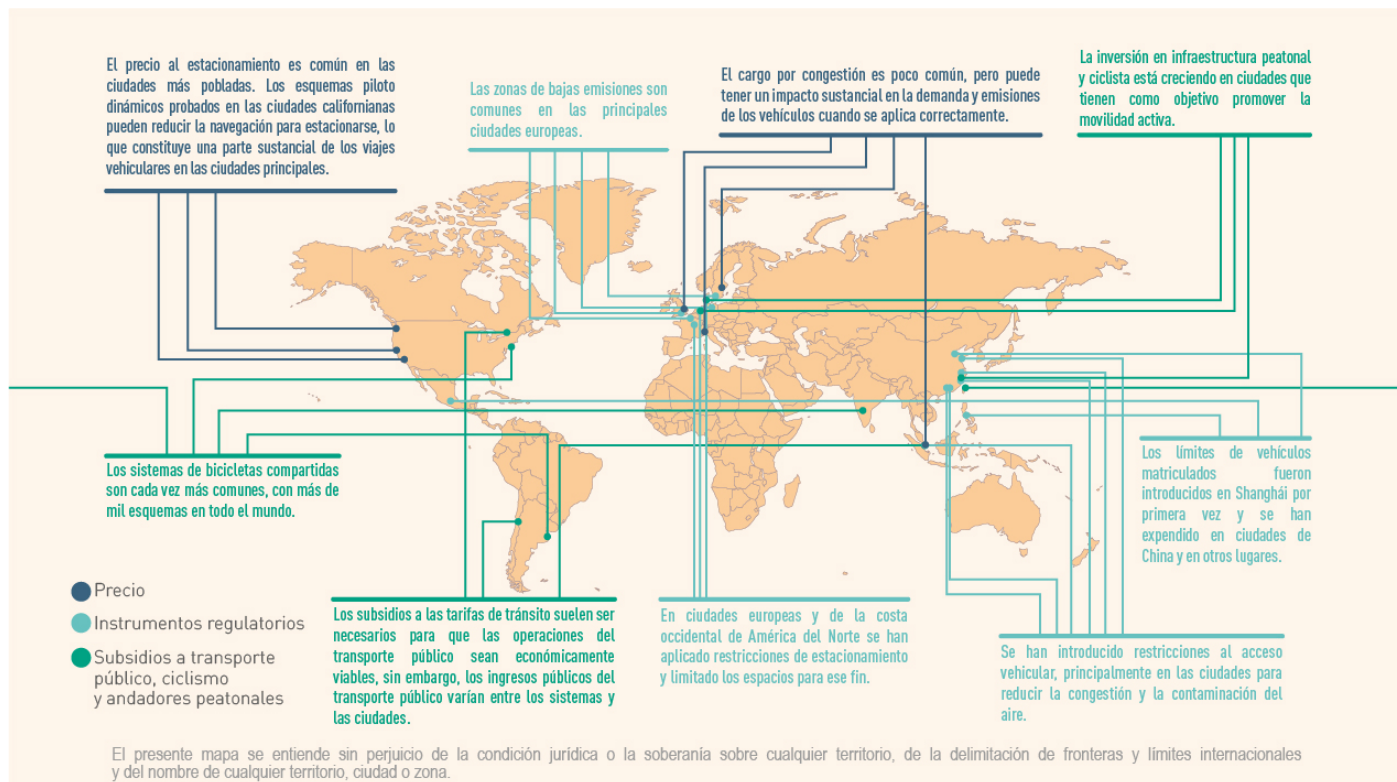
De la evaluación de políticas a nivel nacional, se identificó que Alemania cuenta con un Plan de Acción Climática 2050 donde define objetivos a mediano y largo plazo para la reducción de emisiones de GEI en el sector transporte. Para alcanzar estas metas, se propuso 12 perspectivas, donde incluyen la eficiencia de los vehículos, la electrificación, el desarrollo urbano orientado al transporte, el transporte de carga multimodal, el mejoramiento en la infraestructura y fortalecer la matriz energética con energías renovables (Agora Verkehrswende, 2017).

En el contexto nacional, si bien no se ha ratificado ni publicado ninguna meta específica sobre cero emisiones, se cuentan con las acciones establecidas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas, las cuales se detallarán en el apartado 4. Sin embargo, se debe destacar que a la finalización de este documento, México suscribió la declaración, de carácter no vinculante, de los gobiernos de mercados emergentes y economías en desarrollo para la adopción de medidas que fomente los vehículos cero emisiones hacia 2040. Esta declaración fue firmada por diversos países desarrollados y en desarrollo, ciudades, gobiernos locales, fabricantes de automóviles, empresas de flotillas, plataformas de movilidad compartida, inversionistas con intereses en el sector automotriz y cámaras empresariales de diversos países (SE, 2021).

De manera general, la AIE identificó nueve instrumentos que se están aplicando en distintos países o ciudades. Cuatro de estos instrumentos son regulatorios, donde se principalmente se restringe el acceso de vehículos en ciertas áreas de la ciudad; tres son para incrementar el uso de modos de transporte no motorizados y/o incrementar el uso de transporte público, y; dos son instrumentos económicos que, a diferencia de los regulatorios, presentan algún tipo de impuesto.



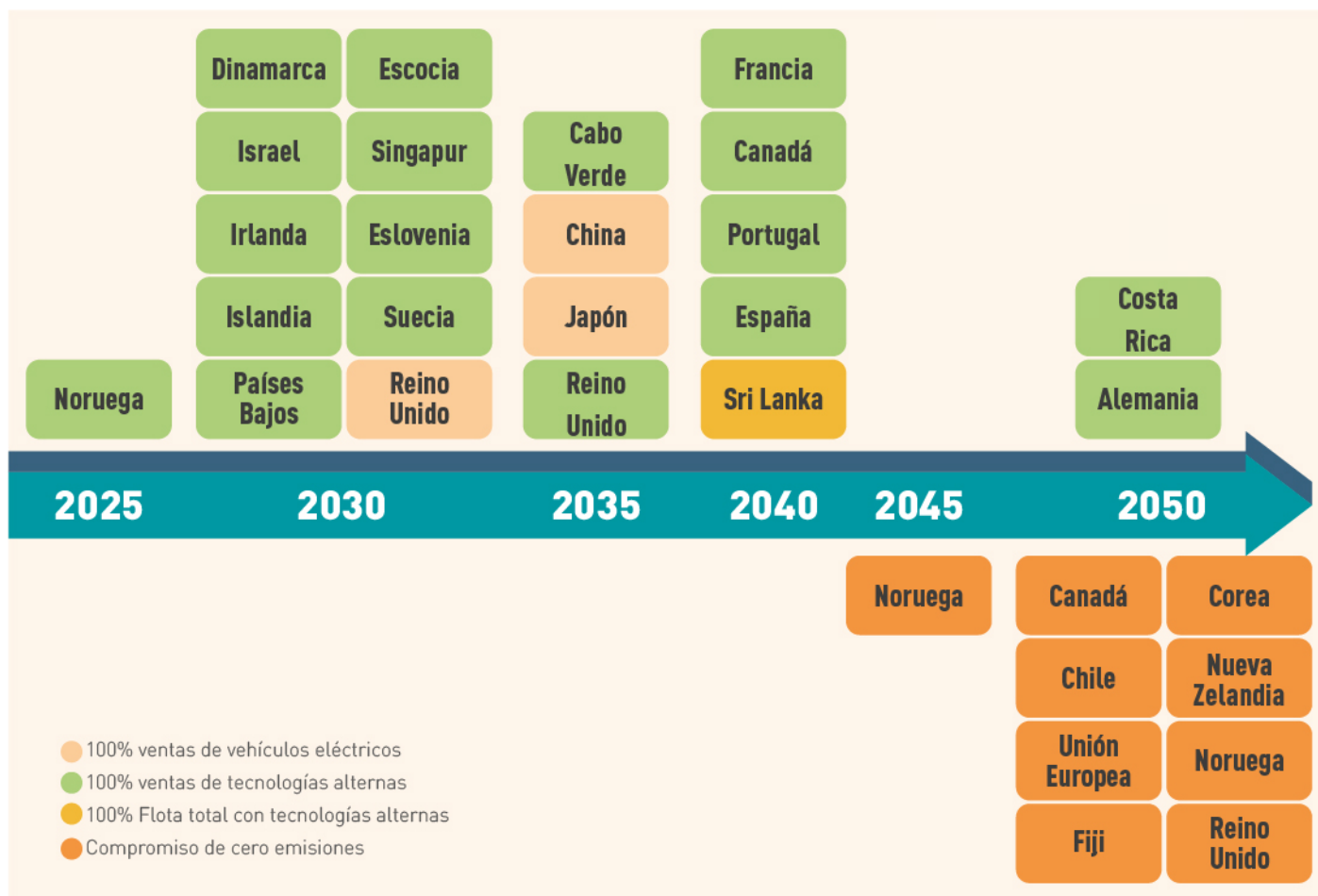
**Figura 2.** Instrumentos normativos recientes que promueven alternativas sostenibles a los viajes en automóvil en las principales ciudades.



Fuente: IEA, 2020.

Específicamente para la inclusión de nuevas tecnologías de vehículos, la AIE, en su último reporte de vehículos eléctricos, presentó los gobiernos nacionales que proponen y han anunciado una eliminación total de los vehículos con motores de combustión interna o un objetivo de vehículos eléctricos del 100%. (Figura 3). Estos compromisos forman parte de sus compromisos climáticos internacionales (NDC) o de los planes nacionales de cambio climático, hojas de ruta o estrategias nacionales.

Figura 3. Metas de electromovilidad propuestas por distintos países.



Fuente: IEA, 2021.

Los años de estas metas, así como las tecnologías de vehículos y el enfoque de cada una varían a lo largo del periodo. Como se puede observar en la Figura 3, la mayoría de estos compromisos se refieren a las ventas anuales, en lugar de al stock total de la flota vehicular. Respecto al tipo de flota, una revisión más detallada a cada uno de sus compromisos, la mayoría sí definen un tipo de vehículo (vehículos ligeros o pesados), pero el enfoque principal es a ligeros puesto que son los modelos de autos eléctricos con mayor madurez actualmente.

Específicamente para camiones pesados y medianos con motor a combustión interna, algunos gobiernos están empezando a asumir compromisos a largo plazo para la eliminación de este tipo de vehículos. Tal es el caso de Cabo Verde, Noruega y Pakistán, y los gobiernos regionales de California y la provincia de Hainan, al sur de China, que han asumido compromisos como parte de documentos oficiales de política.

Si bien es un avance, la medida todavía está lejos de adoptarse ampliamente para tener el efecto deseado. Durante 2020, en la Unión Europea, sólo el 0.4% de las

ventas de nuevos camiones medianos y pesados fueron vehículos eléctricos de baterías o sistemas de carreteras eléctricas. En Estados Unidos, la participación de este tipo de camiones pesados en las ventas de camiones pesados fue de 0.03% (Wappelhorst & Rodriguez, 2021).

Este esfuerzo no sólo se queda a nivel de política nacional, si no que también lo han establecido de igual manera distintas armadoras automotrices al definir metas sobre vehículos eléctricos durante esta década. Estas metas están dirigidas al mercado de Europa, China y Estados Unidos, por lo que se estimaría que estos objetivos sean aplicables en Latinoamérica en la siguiente década.

**Tabla 1.** Resumen de anuncios de las armadoras automotrices.

ARMADORA	FECHA META	PRONÓSTICO
Ford	2022	40 modelos híbridos y eléctricos con una inversión de 11,000 millones de USD. Anunciado en 2018 <a href="https://fortune.com/2018/01/14/ford-11-billion-electric-car-investment/">https://fortune.com/2018/01/14/ford-11-billion-electric-car-investment/</a>
GM	2023	22 modelos eléctricos. No considera modelos de lujo sino económicos. Anunciado en <a href="https://fortune.com/2019/06/05/gm-electric-cars/">https://fortune.com/2019/06/05/gm-electric-cars/</a>
Fiat-Chrysler	2022	12 modelos de las marcas Jeep, Fiat, Maserati, Ram y Chrysler. Anunciado en 2018
VW	2025	75 modelos eléctricos. Estimación de 20% de sus ventas serán de vehículos eléctricos
Alianza Nissan, Renault y Mitsubishi	2022	20 modelos de vehículos eléctricos e híbridos.
Daimler Mercedes Benz	2022	Más de 10 modelos eléctrico en el mercado y habrán modelos eléctricos con un rango de 400 kms. <a href="https://www.daimler.com/innovation/case/electric/eqa-2.html">https://www.daimler.com/innovation/case/electric/eqa-2.html</a>
BMW	2023	25 modelos electrificados, incluyendo 12 híbridos y 13 totalmente eléctricos, para las marcas Mini, BMW, Roll-Royce. Anunciado en 2019.
Hyundai - Kia	2025	<a href="https://www.automobilemag.com/news/bmw-and-m-eva-phevs-electric-vehicles-2023/">https://www.automobilemag.com/news/bmw-and-m-eva-phevs-electric-vehicles-2023/</a>
Mazda	2030	29 modelos eléctricos. Estima que tenga 1 millones de ventas de VE en ese año
Toyota	2025	5% de sus ventas serán de vehículos eléctricos

Fuente: Páginas oficiales de diversas armadoras automotrices.

Por otro lado, respecto vehículos a base de hidrógeno<sup>1</sup>, la Unión Europea ha sido pionera en su incorporación en el sector transporte. El marco regulatorio de esta tecnología tiene su base en los siguientes elementos:

- La Directiva de Vehículos Limpios, que define al hidrógeno como combustible alternativo para vehículos de carga pesada.
- La Iniciativa de Despliegue de Autobuses Limpios de 2017, la cual promovió la creación de una plataforma donde autoridades públicas, operado-

1. El funcionamiento de vehículos a base de hidrógeno es fundamentalmente, el enlace del hidrógeno con oxígeno dentro de una celda de combustible electroquímica, esta reacción produce agua y energía eléctrica. Lo anterior quiere decir que no se emiten contaminantes que afecten la calidad del aire local, ni de GEI.

res de transporte, compañías constructoras y organizaciones financieras colaboren para el despliegue de autobuses más limpios.

- La directiva de Infraestructura para Combustibles Alternativos, donde se establece el objetivo voluntario de crear infraestructura para recarga de hidrógeno cada 300 km en la red de transporte europea (Fuel Cell Electric Buses, 2018).

**Tabla 2.** Proyectos de transporte público limpio con hidrógeno en la Unión Europea.

PROYECTO	AÑOS	VEHÍCULOS INVOLUCRADOS
CHIC	2010 – 2016	54 vehículos de celda de combustible 4 vehículos de combustión interna de hidrógeno
High V. LO-City	2012 – 2019	14 vehículos de celda de combustible 3 estaciones de carga de hidrógeno
HyTransit	2013 – 2018	6 vehículos de celda de combustible 1 estación de carga
3Emotion	2015 – 2022	29 vehículos de celda de combustible con estaciones de carga correspondientes en 5 ciudades europeas
NewBusFuel	2015 – 2017	Estudio sobre infraestructura de abastecimiento de hidrógeno a gran escala para autobuses de celda de combustible.
JIVE	2017 – 2023	139 vehículos de celda de combustible con infraestructura de carga correspondiente, en 5 países.
JIVE 2	2018 – 2024	152 vehículos de celda de combustible con infraestructura de carga correspondiente, en 14 países.
MERHLIN	2017 – 2020	Demostrar un modelo de negocios financiable para estaciones de carga de hidrógeno para el despliegue del Hidrógeno como combustible alternativo en la UE.
H2Bus Europe	2019 –	Despliegue de 1,000 vehículos de celda de combustible con infraestructura de apoyo, en ciudades europeas a tasas comercialmente competitivas

Fuente: Fuel Cell Electric Buses, 2021.

Actualmente, en el continente americano, Estados Unidos cuenta con 64 autobuses en servicio activo, en los estados de California, Ohio y Hawái, mientras. Por otro lado, en América Latina, se tiene registro de autobuses eléctricos de hidrógeno en servicio activo en Costa Rica y Brasil (Ministerio de Energía, 2020; AgênciaBrasil, 2015).

# C. Panorama nacional

En términos generales, en México, el sector transporte es el mayor generador de emisiones de GEI debido a la quema de combustibles fósiles. Esto debido a que el transporte carretero tuvo mayor consumo de energía, por encima la requerida para toda la industria nacional. Tan solo en 2019, el sector transporte fue responsable de la emisión de 20% de los GEI y 15% del carbono negro a nivel nacional.

La relevancia de su análisis proviene no sólo de su importancia en las emisiones de GEI, si no de su papel preponderante en la economía nacional. El sector de transportes, comunicaciones, correo y almacenamiento comprendió el 5.24% del total de la población ocupada para 2018. Sin embargo, en proporción al PIB es responsable del 6.48%. Adicionalmente, el modo carretero es el de mayor utilización en el país tanto para carga como para pasajeros, siendo responsable de la movilización del 56% de la carga y del 95% del total de pasajeros.

## C.1. CONSUMO DE ENERGÍA HISTÓRICO DEL TRANSPORTE

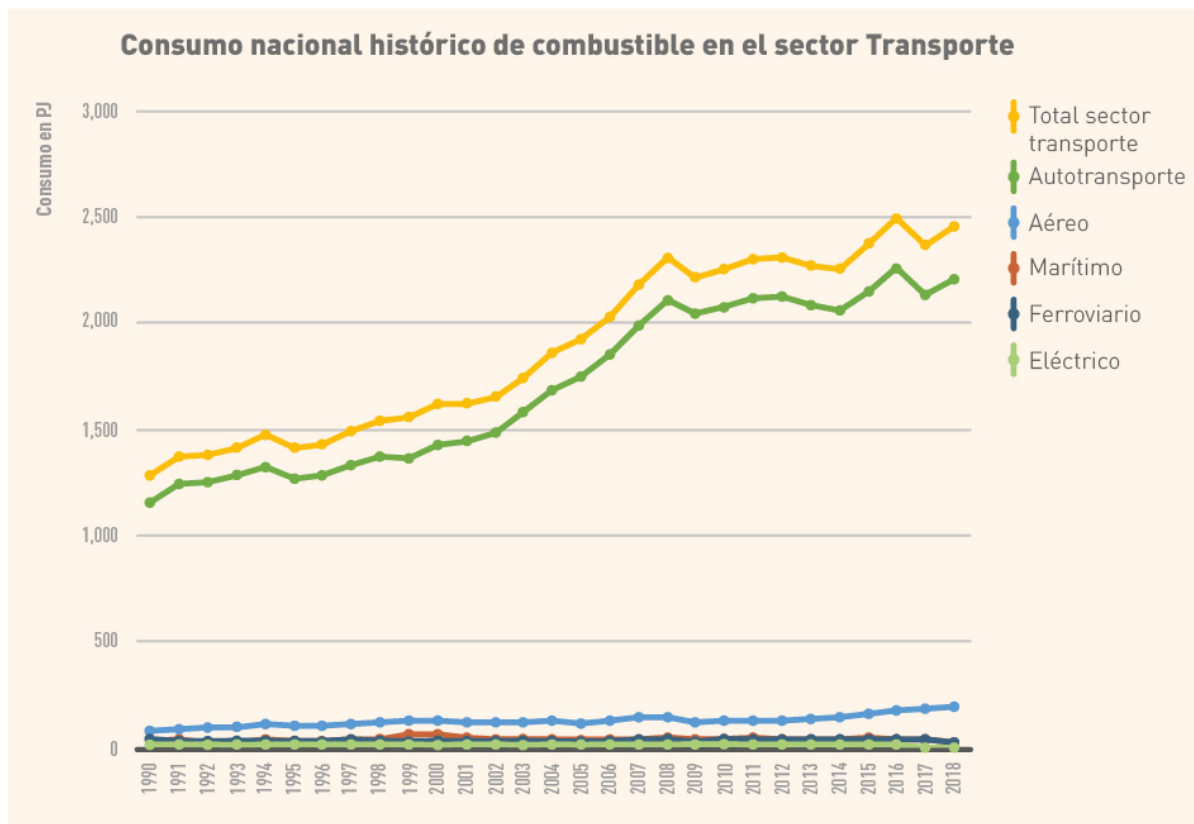
La interacción entre el transporte con el medio ambiente constituye una preocupación creciente en el mundo actual debido a su alto consumo de combustibles fósiles y las consecuencias derivadas de esta acción. La expansión de las urbes urbanas como el incremento de saturación en vehículos ha influenciado directamente en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) incrementando durante el período 1990-2018 de 89,149.3 Gg de CO<sub>2</sub>e a 175,165.3 (INEGYCEI 2018, INEGI, 2013), es decir casi el doble de emisiones.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2019 (INEGYCEI), el sector transporte es responsable de la emisión de 20% de los GEI totales en el país y 15% del carbono negro. De esos porcentajes, el autotransporte es el mayor generador abarcando el 92% de emisiones GEI y el 97% del carbono negro.

En el aspecto energético, como se puede observar en la siguiente figura, el mayor consumo de energía está relacionado con el autotransporte. Este subsector ha incrementado su demanda de energía un 60% de 1990 a 2019. En la Figura 4, se puede observar que el consumo de energía tuvo un crecimiento exponencial de 1990 hasta 2008, y a partir de ese año el aumento fue más paulatino (SENER, 2020).

El consumo de energía no muestra el mismo comportamiento de la venta de vehículos, ya que en algunos años decrece. Esto indica que posiblemente se están incorporando a la flota nacional vehículos de baja eficiencia, como los importados de Estados Unidos, o mejor conocidos como autos chocolate, que en su mayoría cuentan con más de diez años de antigüedad y un desempeño mecánico, ambiental y energético inferior a los autos nuevos.

**Figura 4.** Consumo nacional de combustible en el sector transporte por modo de transporte

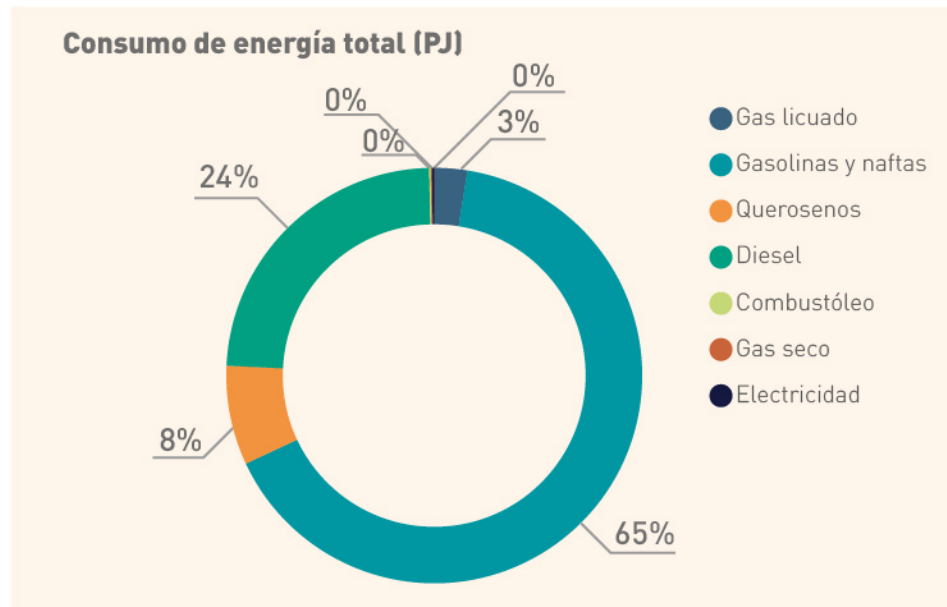


Fuente: Elaboración propia con información de SENER, 2020.

Un análisis más detallado por tipo de combustible muestra que la gasolina y nafta siguen destacando por su mayor uso, al contrario de gas natural (o gas seco) y electricidad. Los datos de 2018 reflejan que las gasolinas y naftas representan el 65% del consumo total de energía, seguido por el uso del diésel, mientras que la penetración de automóviles cuyo combustible es la electricidad o el gas seco es menor a 1% (Figura 5).



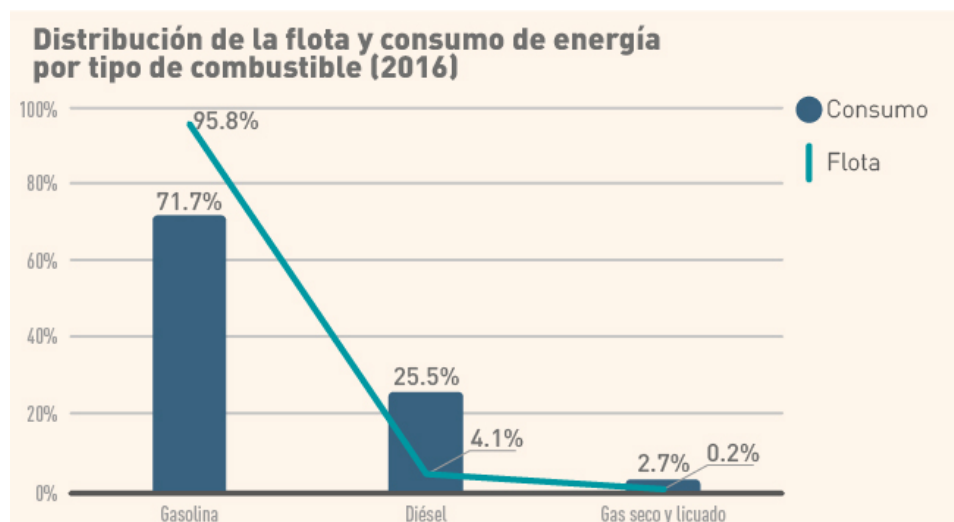
**Figura 5.** Consumo nacional de energía del sector transporte por tipo de combustible al año 2018.



Fuente: Elaboración propia con información de SENER, 2020.

La distribución de la flota vehicular por tipo de combustible es principalmente de gasolina con un 95%, seguido por diésel con 4.1% y el resto corresponde a gas seco y licuado. Sin embargo, la distribución del consumo de combustible difiere en cuanto a la distribución de la flota debido a que la gasolina representa el 72% del consumo y en segundo lugar se encuentra el diésel, lo que indica que aún el stock de los vehículos que utilizan diésel es del 4% su consumo de energía representa una cuarta parte, lo que indica que su uso en término de vehículo-kilómetros recorridos (KRV) es mayor.

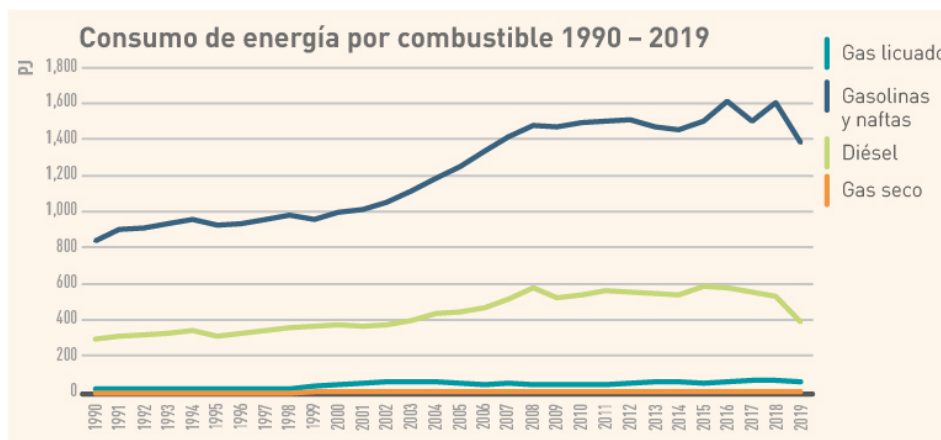
**Figura 6.** Distribución de la flota y consumo de energía por tipo de combustible



Fuente: SENER, 2020.

Por otro lado, si observamos el consumo histórico del autotransporte por combustible, hasta 2019, aproximadamente 100% del consumo de energía del transporte carretero proviene de combustibles fósiles. De los cuales, gasolina y diésel representaron en conjunto el 97% del consumo total. Hasta 2019, el Balance Nacional de Energía no reportó el consumo de electricidad de los vehículos eléctricos, lo cual indica que su proporción es aún muy pequeña como para considerarse.

**Figura 7.** Consumo de energía por combustible, 1990 – 2019.



Fuente: SENER, 2020.

## C.2. CONFORMACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE

Los modos de transporte están divididos en cuatro tipos: aéreo, ferroviario, marítimo y carretero. El servicio aéreo en México está principalmente destinado a pasajeros con propósitos comerciales, con una distribución de 77% para pasajeros y 23% únicamente para carga. Para 2018, el sistema aeroportuario mexicano comprendía 77 aeropuertos, los cuales transportaron a 149 millones de pasajeros y 233 mil toneladas de carga aérea de exportación.

Respecto al servicio ferroviario, en términos de carga, este funciona a través de contenedores. En el año 2016, se trasladaron 9.3 millones de toneladas de carga intermodal, de los cuales la distancia promedio fue de 813 km, esta distancia es mayor que la de los camiones de carga (450 km).

El transporte marítimo se caracteriza por trasladar el volumen de carga mayor comparado con los otros modos de transporte, incluyendo el mercado internacional. Los puertos de carga están divididos en puertos de altura, que son los que reciben el mayor volumen y tamaño de embarcaciones, y los de cabotaje que son para embarcaciones pequeñas o medianas que navegan dentro del territorio

mexicano. Para el 2019 hubo un movimiento de 231,146 miles de toneladas dentro de los puertos de altura y 48,271 miles de toneladas en puertos de cabotaje; por otro lado, se trasladaron ese mismo año 17.9 millones de pasajeros tanto en crucero como en transbordador (SCT, 2020).

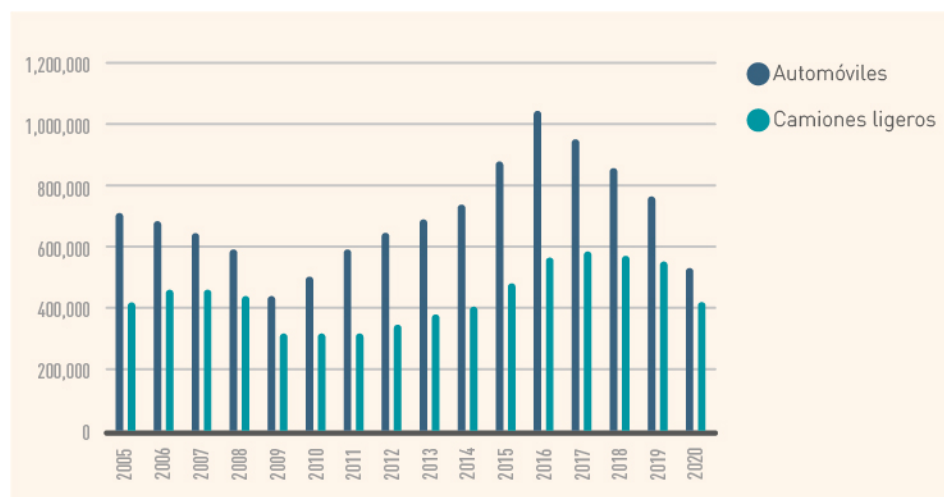
Finalmente, el modo carretero es el de mayor utilización en el país tanto para carga como para pasajeros, siendo responsable de la movilización del 56% de la carga y del 95% del total de pasajeros. Estos porcentajes se ven reflejados en un alto número de vehículos y emisiones de gases de efecto invernadero.

En términos económicos, el sector de transportes, comunicaciones, correo y almacenamiento comprendió el 5.24% del total de la población ocupada para 2018. Sin embargo, en proporción al PIB es responsable del 6.48%.

En términos más específicos, la industria automotriz contribuyó con el 2.9% del PIB nacional y el 18.3% del manufacturero, estando debajo de la industria alimentaria. De 1993 a 2017, el PIB de esta rama creció más del doble que el PIB manufacturero y el PIB nacional. Estos datos reflejan que la producción de vehículos se ha posicionado como una de las más competitivas y dinámicas a nivel internacional. En 2017 fue el séptimo productor mundial de vehículos y el primer lugar en América Latina, produciendo 4.09 millones de vehículos, mientras que en producción de autopartes se posicionó en el quinto lugar a nivel mundial (AMDA, 2018).

Sin embargo, en el mercado interno, el comportamiento es distinto. La venta de vehículos a nivel nacional a partir de 2005 no ha mostrado un desempeño lineal o tendencial creciente debido a su dependencia con la economía. La relación de estas dos variables es directa como se puede observar en la Figura 8. Es decir, que en los años 2009 y 2020 durante la crisis financiera y los efectos de la pandemia COVID-19 las ventas de vehículos disminuyeron.

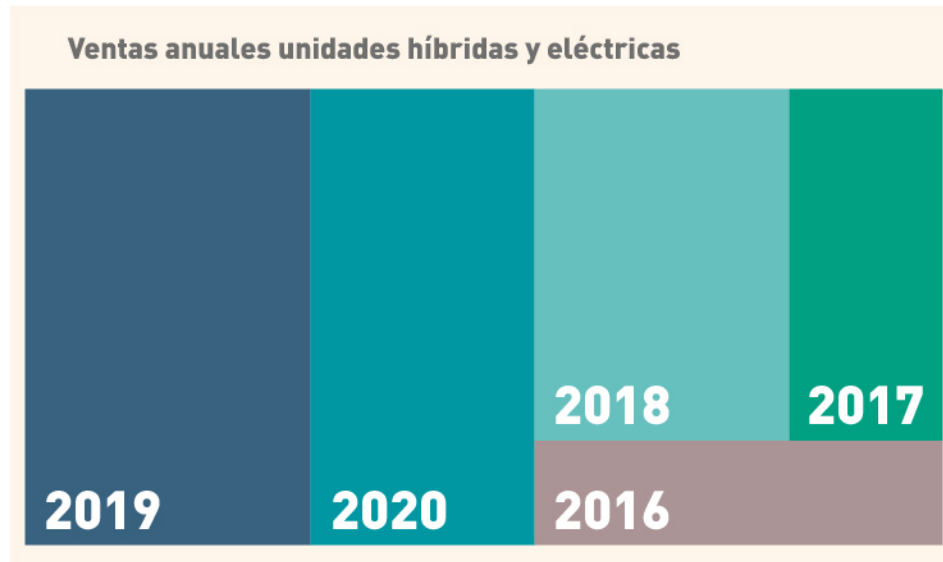
**Figura 8.** Ventas de vehículos ligeros.



Fuente: INEGI, 2021.

Esta misma situación se ve reflejada para la venta de vehículos eléctricos e híbridos, que mostraba un creciente número de ventas en los últimos años. Sin embargo, esta tendencia se vio afectada en 2020 como consecuencia de la pandemia COVID-19. Esto se puede observar en la Figura 9 donde las ventas totales de 2019 resultaron ser mayores que las del último periodo.

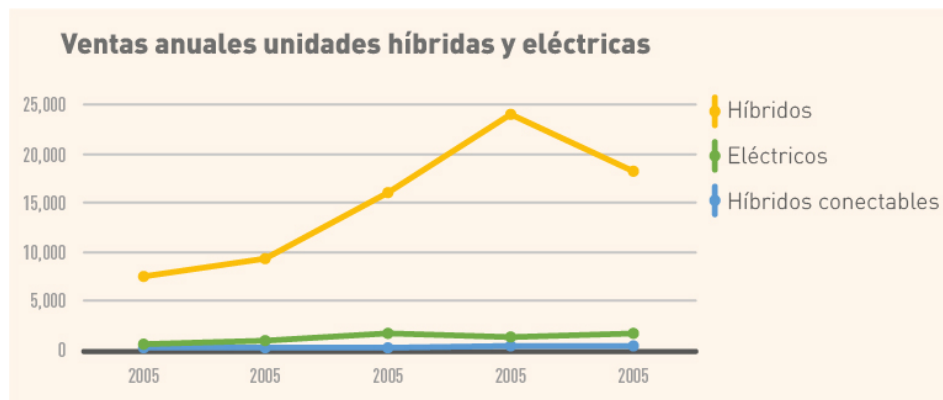
**Figura 9.** Ventas anuales nacionales de vehículos ligeros híbridos y eléctricos.



Fuente: INEGI, 2021c.

Por otro lado, esta reducción se reflejó únicamente en las unidades de vehículos híbridos, puesto que los híbridos conectables y eléctricos mostraron sus mejores ventas, comparado con los años anteriores. Cabe mencionar que los datos recabados del INEGI inician a partir del 2016, por lo que no se pueden analizar años previos. Desde 2016 hasta abril 2021, se han comercializado 1,660 carros totalmente eléctricos y 7,157 híbridos enchufables.

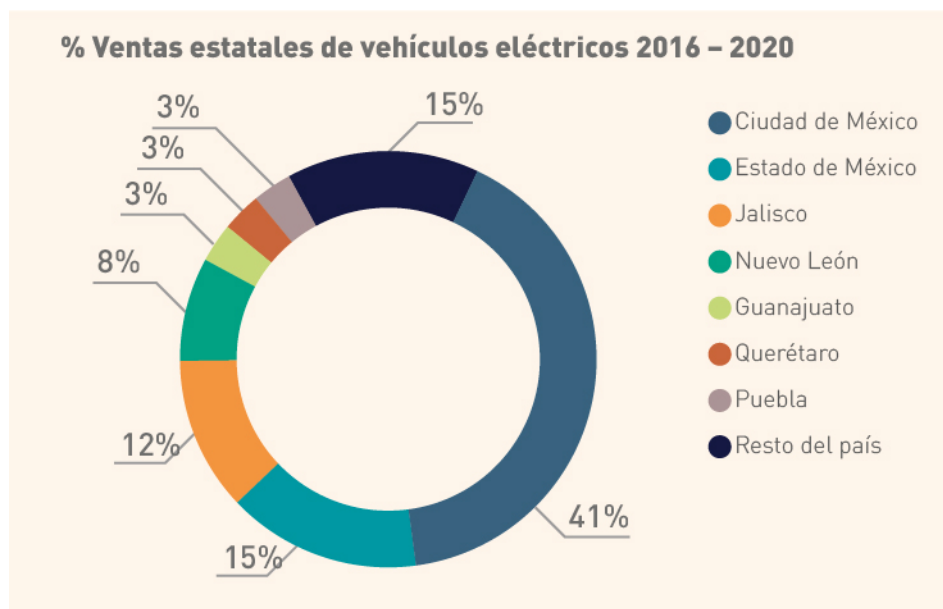
**Figura 10.** Ventas de vehículos ligeros con tecnología híbrida y eléctrica.



Fuente: INEGI, 2021c.

La distribución de ventas no es homogénea entre los estados. Las mayores ventas son en la Ciudad de México, seguido por Estado de México, Jalisco y Nuevo León. Esas cuatro entidades conforman el 76% de las ventas en el periodo 2016 – 2020.

**Figura 11.** Distribución de ventas de vehículos ligeros eléctricos.



Fuente: INEGI, 2021c.

Por el otro lado, en el caso de los vehículos pesados, no se han reportado venta de vehículos eléctricos, únicamente híbridos para el transporte de carga (1,169 vehículos, para ser exactos), pues esta es la transición que se presenta para este tipo de vehículos, con el objetivo de ir penetrando el sector con vehículos eléctricos y de celdas de combustible y disminuyendo la participación de motor de combustión interna (MCI) e híbridos. Esta falta de vehículos se debe principalmente por la falta de infraestructura, pero también por la poca oferta de mercado de vehículos eléctricos para esta capacidad, ya que tanto el peso de las baterías como la potencia de energía requerida para su recarga influyen para su acelerada inclusión.

En cuanto a infraestructura nacional del sector transporte, se compone principalmente de carreteras, con 407.9 millones, de las cuales 43.4% se encuentran pavimentadas, siendo Oaxaca el Estado con el mayor número de kilómetros en condiciones de terracería. Estas condiciones y la falta de carreteras en buenas condiciones generan que dichos trayectos sean ineficientes en tiempo de traslado y uso de combustible.

Por otro lado, el Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018 – 2024 indica que durante este periodo se construirán 5 mil 500 km adicionales, y se modernizarán 48 carreteras en 251 kilómetros y se realizarán trabajos de conservación en 40 mil 500 kilómetros de carreteras federales. Asimismo, se indica que

se planea invertir para mejorar las condiciones rurales de 600 caminos, además de pavimentar 7 mil 545 kilómetros para las cabeceras de Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero y Oaxaca, se dará mantenimiento a 4 mil 230 km y se trabajará en 20 carreteras concesionadas con una meta de 299 km. En total, todos estos esfuerzos serán para la mejora de aproximadamente 58,325 km correspondientes al 14% del total actual (SCT, 2018).

Evaluando la inversión total histórica (2013 – 2019) en infraestructura carretera, podemos observar que los últimos tres años analizados son los que presentan la menor inversión para la actualización o construcción de nueva infraestructura.

**Tabla 3.** Proyectos de transporte público limpio con hidrógeno en la Unión Europea.

AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Corrientes	70,871	86,124	75,532	69,831	46,114	52,347	53,831
Constantes	89,696	105,058	89,566	80,756	50,162	54,413	53,831

Fuente: Fuel Cell Electric Buses, 2021.

De acuerdo con (AC&A et al., 2020), las inversiones nacionales en infraestructura terrestre promedio fueron un 0.6% del PBI en los últimos años, mientras que el promedio de Latinoamérica es 1.1%; sin embargo para alcanzar el promedio mundial actual, México debería invertir el 2.7% del PIB, lo que nos indica que se está invirtiendo muy poco en mejora de viales y carreteras para mejora de la seguridad de los usuarios.

Para los vehículos eléctricos, la venta de vehículos está directamente relacionada con las electrolinerías públicas instaladas. Hasta 2020, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con apoyo del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) de la Secretaría de Energía (SENER), desarrolló el Programa para la Promoción de la Electromovilidad a través de la Inversión en Infraestructura de Recarga (PEII). Su objetivo era expandir la infraestructura de recarga existente en la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, conectando 10 entidades federativas con electrolinerías de carga rápida.



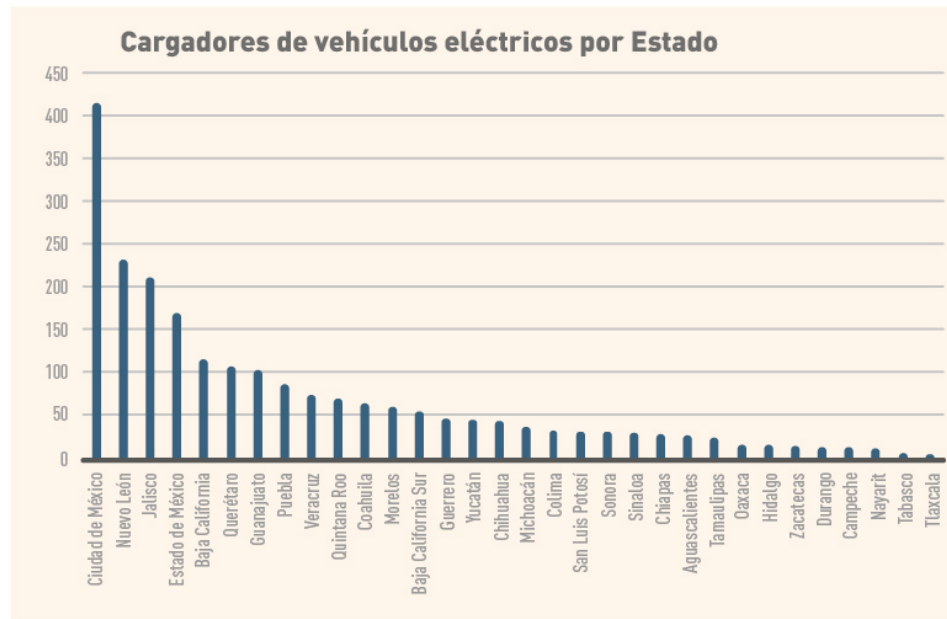
Figura 12. Red troncal de electrolinerías y estados a conectar.



Fuente: SEMARNAT, 2018.

A julio de 2021, se contaban con 2,544 cargadores, de los cuales, Ciudad de México, Jalisco y Nuevo León y Estado de México tienen el mayor número de estaciones (47%). Es importante mencionar que, de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio INEM 2016, estos estados fueron los principales emisores de CO<sub>2</sub> de fuentes móviles carreteras.

**Figura 13.** Cargadores públicos para vehículos eléctricos por entidad federativa registrados hasta julio 2021.



Fuente: INEM, 2016.

El siguiente mapa muestra la localización de los cargados públicos, donde se observa que la mayoría de ellos se encuentra ubicado en la zona centro del país.

**Figura 14.** Ubicación de cargadores públicos existentes.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los conectores para la recarga del vehículo, existen diferentes modelos que dependen del tipo de vehículo, híbridos enchufables y eléctricos, y de los fabricantes, dado que cada fabricante diseña su propio cargador. Actualmente, a nivel internacional se están realizando algunas acciones para estandarizar los cargadores, como en el caso de Japón y Estados Unidos (IMT, 2020).

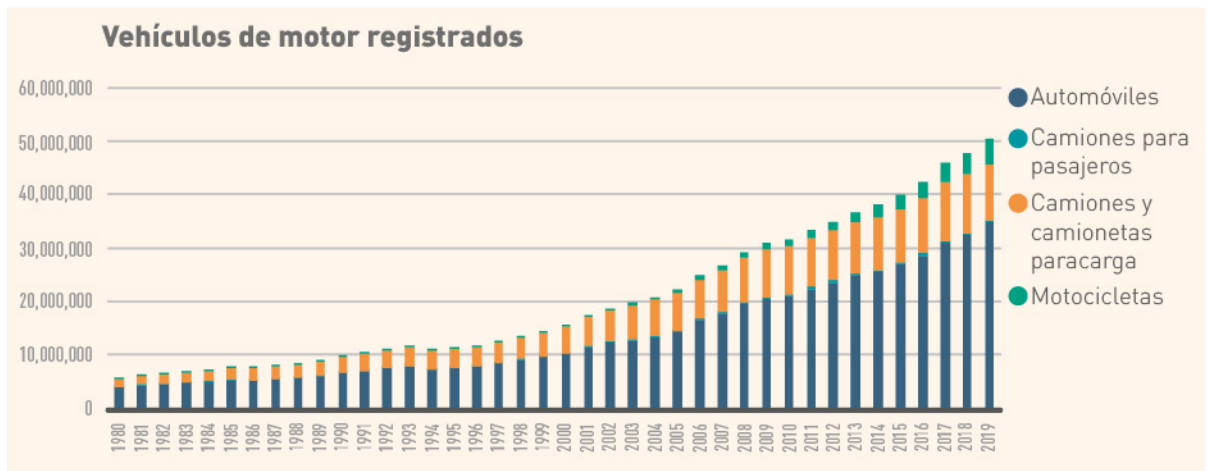
### **C.3. INFLUENCIA DEL TRANSPORTE EN LA SOCIEDAD MEXICANA**

En México, el 80% de la población se localiza en comunidades urbanas, las cuales tienen mayor acceso a diferentes opciones de transporte público e infraestructura de mayor calidad, pero también a servicios donde se requiere la movilización, como es el caso de los servicios de comida a domicilio o paquetería. Asimismo, dichas ciudades que tienen la población desagregada en diferentes zonas generan diariamente millones de traslados de personas dentro de una misma área geográfica, lo que provoca congestión vehicular y mala calidad del aire como consecuencia de la falta de planeación urbana y dependencia del uso del automóvil. De acuerdo con la última encuesta origen-destino de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en promedio una persona tarda 48 minutos en trasladarse y las familias destinan hasta un 25% de sus ingresos en gastos relacionados al transporte (INEGI, 2018).

En la sociedad, el desarrollo del transporte es sinónimo de bienestar y progreso, por lo que la población solicita mayores volúmenes de servicio que puedan trasladar cargas y pasajeros de manera eficiente y confortable. Como consecuencia, el índice nacional de vehículos registrados por cada mil habitantes pasó de 121 en 1990 a 400 en 2020 (INEGI, 2021c). Esto indica que de 1990 a 2020 el parque vehicular creció a una tasa anual del 5.6%, mientras que la población lo hace a una tasa del 1.5%.

En 1990 los vehículos registrados eran 9.8 millones y para 2019 dicho valor se multiplicó por 4.1 llegando a 50 millones. Por tipo de vehículo, podemos observar que hay 34.5 millones de vehículos de pasajeros registrados y 11 millones de vehículos de carga. Además, la tasa de crecimiento anual más baja es la del transporte de carga (4.4%) y la más alta es la de motocicletas (10.7%), indicando que la penetración de las motocicletas ha sido la de mayor crecimiento en las últimas décadas (específicamente a partir del año 2000), esto es dada su pronta penetración al mercado y el precio de la tecnología, sin embargo, en temas de seguridad, no es la mejor opción para el usuario.

Figura 15. Vehículos de motor registrados, 1980 – 2019.

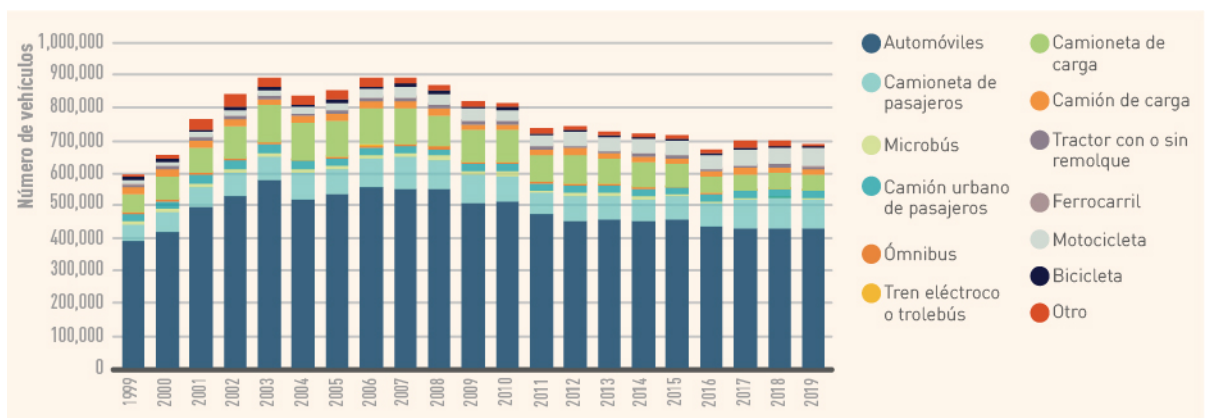


Fuente: INEGI, 2021c.

En cuestión de accidentes de tránsito terrestre se ha identificado un incremento en las últimas dos décadas, pasando de 285 mil accidentes en 1999 a 362 mil en 2019, y con el valor históricamente más alto en 2007, con 476 mil. La disminución de los últimos años se podría deber a muchos factores, incluyendo mejoras en la señalización vial, dispositivos de seguridad e iluminación, infraestructura, o en la concientización de la población, incluyendo su manera de conducir. Por otro lado, analizando los accidentes a nivel estatal de 2019, Nuevo León superó a las demás entidades ocasionando 76,930 accidentes (25% nacional), el resto de los estados contaron cada uno con menos el 7% del total de los incidentes.

Una evaluación de los accidentes en el periodo 1999- 2019 por tipo de vehículo involucrado, se observa que el automóvil de pasajeros presenta la mayor proporción, seguido por camioneta de pasajeros, motocicleta y camioneta de carga. Es importante resaltar el incremento paulatino de los accidentes en motocicleta y la reducción de las camionetas y camiones de carga.

Figura 16. Accidentes en transporte terrestre por vehículo involucrado.



Fuente: INEGI, 2020.

### C.3.1. Regulación del transporte carretero

El crecimiento de las ciudades, los nuevos fenómenos de comunicación, los distintos modos de transporte y la infraestructura incorporada delega cambios institucionales e incorporación de nuevas políticas públicas vinculadas a la mejora del transporte. De acuerdo con la OCDE, en México, los instrumentos regulatorios más importantes están relacionados con seguridad, dimensiones de peso y tamaño, la importación de vehículos usados y emisiones (OECD, 2017).

El país cuenta con normas oficiales mexicanas (NOM) para regular las emisiones generadas por las fuentes móviles, estas se dividen por el tamaño del vehículo, tipo de combustible, y algunas únicamente son obligatorias en ciertas áreas geográficas. Estas normas están principalmente diseñadas para las tecnologías con motores de combustión alterna, las cuales requieren actualización periódica y establecer estándares más exigentes conforme el mercado.

Por ejemplo, para vehículos ligeros se cuentan con la NOM-042-SEMARNAT-2003 y la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, la primera de ellas evalúa los contaminantes criterio para los combustibles de gasolina, Gas LP, gas natural y diésel mientras la segunda analiza el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) únicamente para gasolina y diésel. En específico, para esta NOM es importante observar que el último año de actualización fue en el 2013, por lo que para mejorar los rendimientos de los combustibles es importante que se establezca una actualización periódica y se alinie con los estándares internacionales.

Para vehículos pesados se cuenta con la NOM-044-SEMARNAT-2017 y la NOM-076-SEMARNAT-2012, ambas normas evalúan la emisión de los contaminantes del aire criterio. Sin embargo, la NOM-044 es exclusiva para vehículos que consumen diésel mientras que la NOM-076 aplica para gasolina, gas LP, gas natural y otros combustibles alternos, por lo que para este tipo de vehículos la NOM-044 es la que rige al mayor porcentaje de la flota en circulación. Adicionalmente, la NOM-044 establece la obligatoriedad de incorporar al parque vehicular, autobuses y tractocamiones con motor diésel con estándares de emisión que obligan el uso de filtros para partículas o DPF's<sup>2</sup>. Asimismo, para su correcta aplicación, es necesario que el país cuente con disponibilidad de diésel con un contenido máximo de 15 partes por millón de azufre, comúnmente conocido como DUBA, dado que es el combustible requerido para la adopción de las tecnologías que tienen los estándares de emisiones EURO VI y EPA 2010.

Para ello, en la NOM-016-CRE-2016 (Especificaciones de calidad de los petrolíferos, publicada en el DOF el 29 de agosto de 2016), se especifica las características de los combustibles y calendarización de su disponibilidad. Sin embargo, se requiere su actualización y aceleración de adaptación, debido a que aún no se dispone de este combustible en todo el país. Cabe mencionar que, con estas condiciones, se podría lograr una reducción de emisiones NO<sub>x</sub> de alrededor de

---

2. Los DPF's pueden reducir las emisiones de PM (Carbono Negro) por encima de 95% medido como masa y 99% como número.

90%, de partículas en masa y carbono negro de más de 95% y partículas PM 10 y 2.5 de 99% (INECC, 2018).

Para la Zona Metropolitana del Valle de México se cuenta con la NOM-167-SEMARNAT-2017 aplicable a todos los tipos de vehículos y combustibles y que evalúa los contaminantes de aire criterio. Esta Norma Oficial se publicó como respuesta a la mala calidad del aire de 2016 – 2017 y a las contingencias ambientales relacionadas.

Los límites de pesos y dimensiones para vehículos comerciales en México se establecen en la NOM-012 que aplica a vehículos que utilizan carreteras federales. Los pesos máximos se determinan de acuerdo con las configuraciones de eje y rueda.

Aquella referente a las normas mecánicas y de seguridad para los vehículos de motor (NOM-068) se revisó por última vez en 2014 y las normas de seguridad para remolques y métodos de ensayo se indican en la NOM-035.

Para vehículos usados a diésel, se cuenta con el acuerdo publicado en 2011 que indican las condiciones ambientales para la importación de vehículos usados equipados y de peso bruto superior a 3,857 kg. Por otro lado, en 2021 se firmó el decreto para la regulación de los vehículos importados y usados, coloquialmente conocidos como autos chocolate, en la frontera norte. En este documento se indica que las secretarías de Hacienda y Crédito Público, Economía y Seguridad y Protección Ciudadana serán las encargadas del proceso de legalización de estas unidades (DOF, 2021). Como respuesta a ello, la Asociación Mexicana de Distribuidores Automotrices (AMDA) indicó que la regularización de estos vehículos que se encuentran en calidad de contrabando será una oportunidad para incrementar la basura automotriz circulando en nuestro país, y para introducir tantos o más vehículos de los que actualmente circulan ilegalmente (AMDA, 2021).

**Tabla 4.** Normas Oficiales Mexicanas vigentes referentes a la regulación de contaminantes por tipo de vehículo.

NORMA OFICIAL MEXICANA	CONTAMINANTES EVALUADOS	COMBUSTIBLES	TIPO DE VEHÍCULO
NOM-042-SEMARNAT-2003	HC, CO, NOx y PM	Gasolina, GLP, GN y diésel	Ligero
NOM-044-SEMARNAT-2017	HC, CO, NOx, PM y opacidad de humo	Diesel	Pesado
NOM-076-SEMARNAT-2012	HC, CO y NOx	Gasolina, GLP, GN y otros combustibles alternos	Pesado
NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013	bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Gasolina y Diesel	Ligero
NOM-167-SEMARNAT-2017, aplicable únicamente a los Estados que conforman la ZMVM	HC, CO, NOx, O <sub>2</sub> , dilución (CO + CO <sub>2</sub> )	GLP, GN, gasolina, diésel y otros combustibles alternos	Ligero y pesado

Fuente: Elaboración propia.



## C.4. METAS ESTABLECIDAS PARA EL SECTOR TRANSPORTE CARRETERO

El gobierno federal ha establecido en instrumentos políticos metas relativas al transporte carretero dada su relevancia en el cambio climático y en la mitigación de GEI.

### C.4.1. Acuerdo de París

En 2015 se llevó a cabo la COP21 de París en donde se firmó el Acuerdo de París. Este Acuerdo tiene el objetivo común entre todos los países firmantes de combatir el cambio climático a través de metas específicas de reducción de emisiones de GEI establecidas por cada uno presentadas en sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés).

México fue uno de los países adheridos al Acuerdo de París y entregó su primera NDC con el compromiso de reducir sus emisiones nacionales en 22% para 2030 con respecto a su línea de emisiones base, tomando como punto de partida los datos del último inventario de emisiones disponible (en ese momento 2013). Esta primera NDC presentaba un crecimiento tendencial esperado de las emisiones para 2030 así como rutas de descarbonización y medidas clave a nivel sectorial (INECC, 2015).

En el caso del sector transporte, se presentó una reducción de 18% para 2030, pasando de 266 MtCO<sub>2e</sub> en el escenario tendencial a 218 MtCO<sub>2e</sub> en el escenario incondicional. Una de las medidas costo-efectivas presentadas para este rubro fue la introducción de una norma para mejorar el rendimiento de combustible en los nuevos vehículos ligeros (INECC, 2018).

En 2020, se presentó la segunda NDC con una actualización de los valores de los escenarios base<sup>3</sup>, con la meta nacional de reducción de emisiones de 22%. Cabe mencionar que a diferencia de la primera NDC, esta segunda versión no cuenta con porcentajes o valores de mitigación específicos para cada sector. Para el caso del sector transporte, la actualización del escenario base modificó el escenario tendencial a 2030 donde las emisiones son equivalentes a 250 MtCO<sub>2e</sub> en lugar de 266 MtCO<sub>2e</sub>.

Como se mencionó anteriormente, dentro de la COP26, celebrada en Glasgow en 2021, la Secretaría de Economía de México suscribió la declaración "COP26 declaration on accelerating the transition to 100% zero emission cars and vans" la cual indica que para 2040 las ventas de automóviles y camionetas nuevas deben

---

3. De acuerdo con la información pública, la NDC nacional presentada en 2020 tiene una actualización de las proyecciones de la línea base con base en el inventario de emisiones de emisiones 2015 [Gobierno de México, 2020].

ser de cero emisiones a nivel global y para los mercados líderes sería a partir de 2035. Dicha declaración fue suscrita por diversos países, ciudades, estados y gobiernos locales, fabricantes de automóviles, compañías de flotas comerciales y/o operadores y plataformas de movilidad compartida. Esta declaración se presenta de carácter no vinculante, sin embargo, la meta propuesta soporta y se alinea con las penetraciones estimadas en este estudio referentes a tecnologías de vehículos de bajas emisiones que se presentan en la sección 6 y 7 de este documento (BEIS, 2021).

#### **C.4.2. Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios**

La actualización de la estrategia de 2020 propone un escenario denominado *Escenario de la Transición Energética Soberana*, dentro de esta proyección expone ciertas medidas para el transporte carretero, dentro de las cuales menciona lo siguiente:

- Mayor uso del transporte público en los centros urbanos y reducción al máximo del uso del automóvil individual.
- Electrificación tanto como sea posible de los diferentes medios de transporte tanto públicos como privados.

Asimismo, indica que las consideraciones fundamentales que impulsarán este escenario son:

- El reordenamiento urbano que llevará a la redensificación de las zonas centrales en las ciudades, reduciendo necesidades de movilidad.
- El desarrollo de infraestructura en las ciudades que favorece la movilidad multimodal, incluyendo un mayor uso de transporte público y del no motorizado.
- El uso generalizado de las tecnologías de información y comunicación como herramienta que facilita la movilidad en las ciudades.
- El crecimiento de la generación distribuida de electricidad en edificios, que incluye sistemas de almacenamiento y autos eléctricos, conectados a la red eléctrica bajo el esquema de redes inteligentes.
- La electrificación masiva del transporte, tanto el transporte de personas como el de carga, tanto el público como el privado.
- Transitar de la figura hombre-camión a la figura ruta-empresa.

### C.4.3. Programa especial de cambio climático

Este Programa desarrollado por SEMARNAT conforme a lo establecido en el artículo 66 de la Ley General de Cambio Climático tuvo una actualización en 2021 donde se establecen acciones puntuales del sector transporte y se especifica las dependencias responsables para cada una.

Entre las acciones que se detallan para transporte se encuentran la elaboración de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, modificar la norma de vehículos ligeros nuevos (NOM-163-SEMARNAT), reducir las emisiones mediante la operación del programa Transporte Limpio, promover proyectos de transporte público y de carga local bajos en emisiones, entre otros (SEMARNAT, 2021).

## C.5. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SECTOR TRANSPORTE DE CARGA

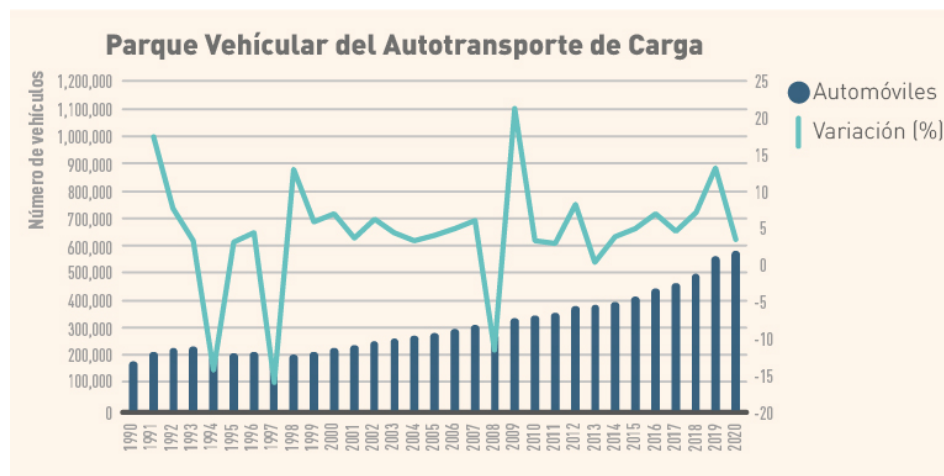
El transporte de carga tiene un papel importante en la economía nacional dado que es responsable de mover los bienes y servicios hacia los lugares donde se requieren. Además, la eficiencia en la transportación puede afectar positiva o negativamente los costos finales de los productos. Por esta razón, se requiere impulsar políticas públicas para mantener la flota de carga en condiciones óptimas para cumplir con sus objetivos y de la misma manera aportar en la reducción de emisiones en sus trayectos.

El crecimiento de esta, la entrada en vigor de acuerdos comerciales, cambios en las cadenas de abastecimiento, dispersión de puntos de producción y de consumo, competitividad y la reducción de inventarios han provocado un incremento en la movilización de bienes que ejerce una presión sobre los sistemas de transporte y logística para satisfacer la demanda a costos competitivos, eficiencia en tiempo, confiabilidad y trazabilidad. La movilización de la carga por modo de transporte en México ha sido predominantemente por el autotransporte de carga (57%), siguiendo por marítimo (31%), ferrocarril (12.7%) y aéreo (0.10%) (SCT, 2021).

En 2020, se estimaron 1,143,940 unidades de carga, de las cuales 990,458 proveen servicio de carga general (86.6% del total de unidades) y 153,482 se dirigen a carga especializada (13.4%) del total de las unidades, solo 580 mil fueron unidades motrices, las restantes fueron unidades de arrastre que son aquellos vehículos utilizados para el transporte de mercancías, el cual requiere para su movilización ser acoplado a una unidad motriz. En el periodo de 2000 a 2020, el parque vehicular del autotransporte de carga ha tenido una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 5.5%, al pasar de 372,263 unidades a más de un millón en 2020 (SCT, 2021).

En la siguiente figura se observa como el crecimiento anual de la flota de carga no ha sido lineal durante la línea del tiempo, pues en cuatro años específicos (1994, 1997, 2008 y 2020) se presenta un declive en su crecimiento.

**Figura 17.** Parque vehicular histórico del transporte de carga.



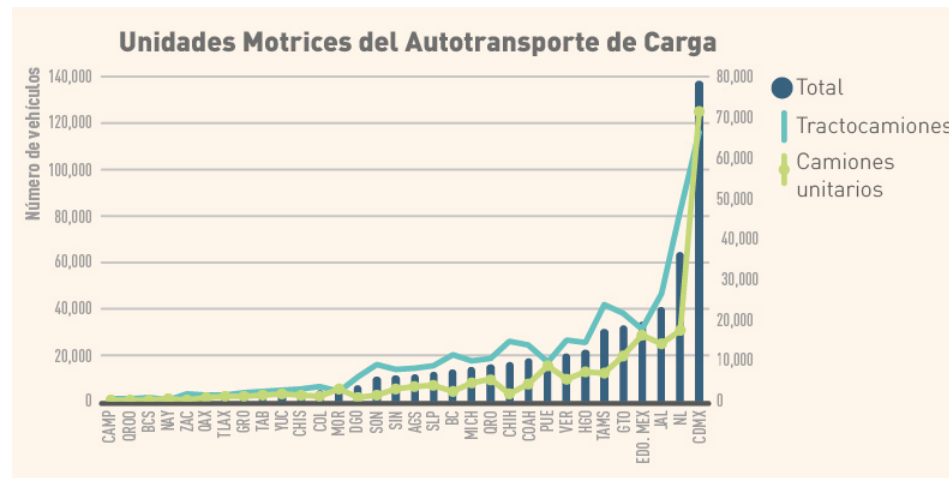
Fuente: SCT, 2021.

## C.6. DISTRIBUCIÓN ESTATAL DEL TRANSPORTE DE CARGA

La distribución de la flota del transporte de carga por entidad federativa nos indica que la Ciudad de México, seguido por Nuevo León y Jalisco son las que presentan el mayor número de vehículos, en conjunto, estas tres entidades cubren el 42% de la flota de carga. Por otro lado, los estados que presentan el menor número de vehículos son Campeche, Quintana Roo y Baja California Sur pues en conjunto suman 3,448 unidades.

Por otro lado, como se puede observar en la Figura 18, la distribución de la flota por categoría de vehículo pesado en cada estado difiere. Por ejemplo, en los estados de la frontera Norte, se muestra que su flota está principalmente integrada por tractocamiones de mayor capacidad, mientras que en estados de la zona centro como Ciudad de México, Estado de México, Puebla y Morelos su flota está dividida casi proporcionalmente entre camiones unitarios y tractocamiones.

Figura 18. Unidades vehiculares por entidad federativa en 2020



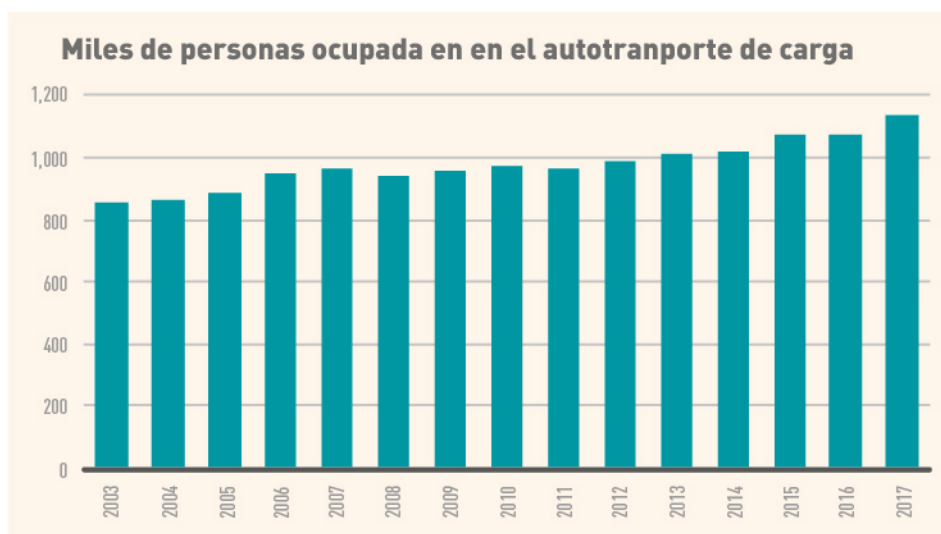
Fuente: SCT, 2021.

## C.7. SITUACIÓN DE LA LOGÍSTICA DEL TRANSPORTE DE CARGA NACIONAL

La planeación estratégica para el movimiento de mercancías es clave para el transporte de carga para reducir tanto los tiempos como los recursos económicos y ambientales. Estos problemas de coordinación y de falta de planeación se dan principalmente en pequeños transportistas que no se han consolidado, sin embargo, se puede presentar a cualquier escala. Asimismo, el incremento de ventas en líneas genera mayor demanda del servicio por lo que una falta de planeación puede afectar gravemente la operación.

Adicionalmente, el autotransporte de carga también representa una fuente de empleos relevante. Con base en datos del INEGI, en 2019 el número de personas ocupadas en esta actividad fue de casi un millón de personas. En términos generales, esta cifra ha mantenido una tendencia ascendente durante la última década a excepción de 2020, donde tuvo una caída de 1.5% respecto a 2019.

**Figura 19.** Personal ocupado en el autotransporte de carga (miles de personas).



Fuente: INEGI, 2021.

Evaluando el sector por tipo de empresa, en 2019, la conformación del sector de acuerdo con el número de unidades y tamaño arrojó que el 24.5% de la flota estaba concentrada por 81.7% de empresas Hombres-Camión, las cuales son las que tienen entre 1 y 5 camiones en su flotilla. Mientras que aquellos clasificados como empresa grande sólo representan menos de 1% del total de empresas, pero concentran el 29.3% de las unidades.

**Tabla 5.** Estructura empresarial del autotransporte de carga, 2019.

TIPO DE EMPRESA	ESTRATO EN UNIDADES	EMPRESAS	%	NO. DE VEHÍCULOS	%
Hombre Camión	1 a 5	147,966	81.7	269,411	24.5
Pequeña	6 a 30	28,318	15.6	325,938	29.6
Mediana	31 a 100	3,601	2.0	181,405	16.5
Grande	más de 100	1,146	0.6	322,617	29.3
<b>Total</b>		<b>181,031</b>	<b>100</b>	<b>1,099,371</b>	<b>100</b>

Fuente: SCT, 2019.

Esta distribución por tipo de empresas influye en el desempeño del sector y en su mejora de eficiencia y productividad, además de los posibles créditos otorgados para reemplazar sus vehículos de carga.

## C.8. INSTRUMENTOS DE TRANSPORTE DE CARGA

El transporte de carga ha presentado en los últimos años estrategias y apoyos gubernamentales para mejorar la eficiencia energética del sector. Tal es el caso del Programa voluntario de Transporte Limpio de la SEMARNAT y la SCT. Estos programas tienen el objetivo de brindar apoyo a los transportistas y usuarios del servicio de carga mediante la adopción de estrategias, tecnologías y mejores prácticas con el objetivo de aumentar la competitividad del sector y hacerlo más eficiente, seguro y sustentable.

A nivel estatal o local se cuentan con algunos programas de verificación vehicular donde se inspeccionan las emisiones del vehículo, como en la Zona Metropolitana del Valle de México, así como ecozonas o zonas de bajas emisiones donde se limita el acceso de vehículos pesados, como la de Toluca o Cuernavaca.

En el aspecto de financiamiento, se cuenta con el apoyo de Nacional Financiera mediante su Programa de renovación de autotransporte federal tanto para pasajero como para carga, donde ofrece crédito para la adquisición de una nueva o semi-nueva para la micro y pequeñas empresas del transporte (menores a 30 unidades).



# D. Metodología para el cálculo de emisiones

En este proyecto, la Iniciativa Climática de México (ICM) y el instituto ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung), instituto de investigación energética y ambiental localizado en Alemania, desarrollaron conjuntamente una estimación de gases de efecto invernadero y modelaron un escenario tendencial y de bajas emisiones para el sector del transporte a nivel nacional, con énfasis al transporte de mercancías. En este proceso, ICM fue responsable de la recopilación de datos y supuestos considerados; por su parte, ifeu proporcionó su experiencia en modelación de emisiones y definición de escenarios, así como proporcionar apoyo en las herramientas relevantes (la herramienta Mobilise your city (MYC) y el modelo de flota). La estimación de emisiones, así como los escenarios, se calcularon con la herramienta MOVES y la calculadora de emisiones MYC. Las dos herramientas fueron calibradas durante la fase de inventario. El instituto ifeu e ICM trabajaron en el borrador de los escenarios climáticos en la herramienta MYC, mientras que la versión final del escenario climático se calculó con MOVES con el objetivo de estimar de igual manera los contaminantes criterio.

El instituto ifeu desarrolló el *MobiliseYourCity Emissions (MYC<sup>4</sup>) Calculator* en nombre de la Iniciativa MobiliseYourCity para ayudar a las ciudades y países a evaluar el impacto de los GEI de sus Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) y sus Políticas Nacionales de Movilidad Urbana y Programas de Inversión (NUMPs por sus siglas en inglés). Basado en el inventario de emisiones de GEI para un año base, MobiliseYourCity Emissions Calculator puede estimar escenarios base y de reducción de emisiones hasta el año 2050 tanto para el transporte de pasajeros como de mercancías. Además, pueden cuantificarse los potenciales de ahorro de GEI de las medidas. El instrumento ayuda tanto a las ciudades como a los países a desarrollar un sistema de transporte más amigable con el medio ambiente.

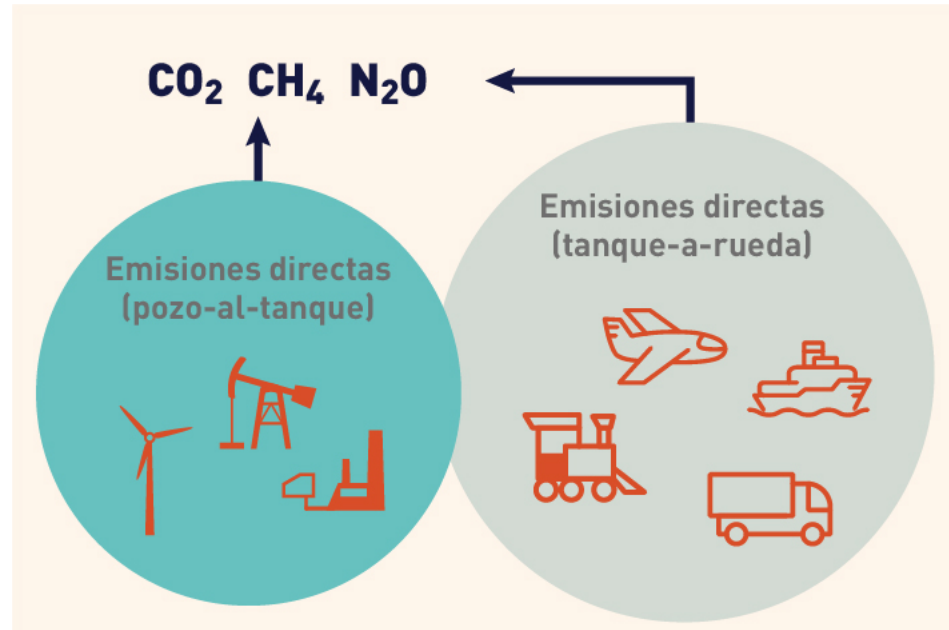
El alcance del estudio se basa en un principio territorial (para más información, revisar el documento Monitoring and reporting approach for GHG emissions, MYC, 2017). De manera general, todo el tráfico debe tenerse en cuenta DENTRO del territorio definido (tráfico de habitantes, tráfico entrante y saliente como viajeros, turistas, entregas de mercancías). Mientras que el alcance de las emisiones calculadas son las emisiones directas, es decir, del tanque a la rueda (TTW, por sus siglas en inglés), así como las emisiones indirectas de la producción de energía (del pozo a la rueda). Las emisiones resultantes pueden presentarse por separado

---

4. La calculadora de emisiones de MobiliseYourCity está disponible en español, francés e inglés y se puede descargar junto con videos y documentos relacionados en la página principal de MobiliseYourCity homepage: <https://www.mobiliseyourcity.net/mobiliseyourcity-emissions-calculator>.

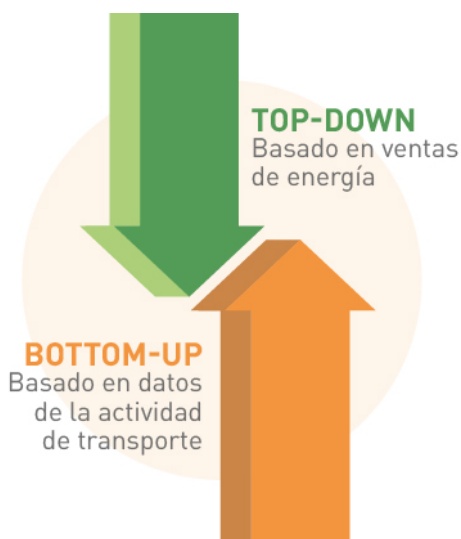
o juntas, de manera grupal se denominan del pozo a la rueda. Tal como se indica en la siguiente figura.

**Figura 20.** Emisiones incluidas en cada método.



Fuente: Monitoring & reporting Approach for GHG emissions, (MYC, 2020).

Por otro lado, como se mencionó, la otra herramienta que se utilizó para el desarrollo de los escenarios fue el modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). Este es un sistema de modelación que cuenta con una base de datos del sector transporte carretero y estima únicamente las emisiones del tanque a la rueda que son las requeridas para los inventarios de emisiones de fuentes móviles.



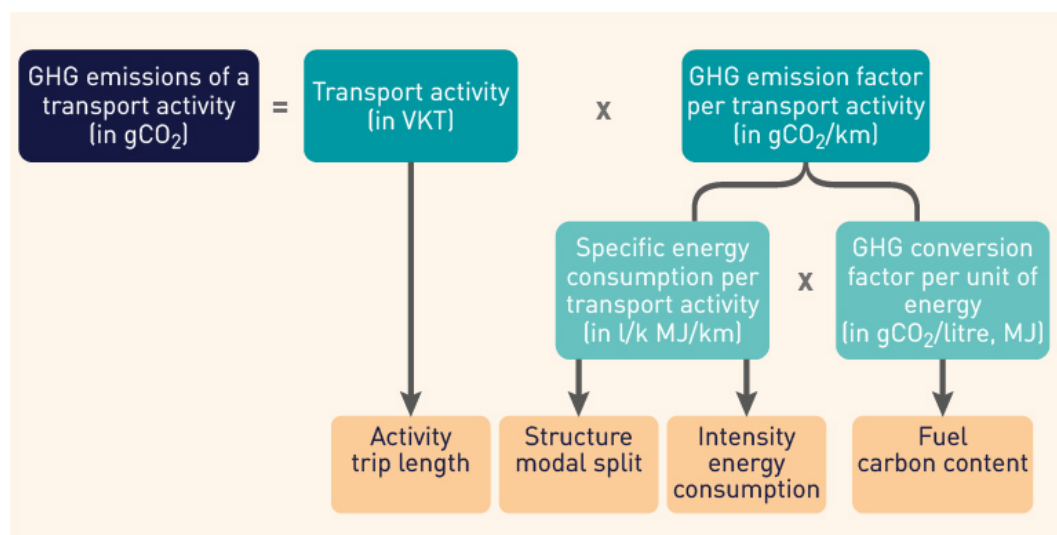
A diferencia del MYC, MOVES te brinda resultados no solo del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero sino también de contaminantes criterio y tóxicos asociados con la operación del vehículo.

Como recomiendan las normas internacionales (por ejemplo, las directrices del IPCC), las emisiones de GEI se calculan de dos maneras dentro de la herramienta MYC:

- De arriba hacia abajo, es decir, basado en las ventas de energía y multiplicado por los factores de emisión específicos de los respectivos combustibles.
- De abajo hacia arriba (ascendente), es decir, basado en la actividad de transporte.

La diferencia entre ambos resultados debe limitarse a un margen de error aceptable. Para este análisis se utilizó el enfoque ascendente. El enfoque “ascendente”, basado en los datos reales de la actividad del transporte, también se denomina marco ASIF (Activity, Structure, Intensity and Fuel por sus siglas en inglés). Las emisiones totales de GEI del transporte se obtienen multiplicando la demanda de transporte (kilómetros recorridos por vehículos —KRV o VKT por sus siglas en inglés) por el consumo de energía específico y el factor de emisión de GEI específico (véase la Figura 21).

**Figura 21.** Marco ASIF para el cálculo de emisiones de transporte.



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de GEI se calculan para un año de referencia o de inventario para desarrollar el escenario tendencial. Para propósitos de este estudio el año de referencia es el 2013 por ser con el que se tenía mejor información disponible. En la siguiente sección se presenta el escenario tendencial que refleja la evolución del sector transporte carretero si no entrara en vigor ninguna política adicional existente.

# E. Escenario tendencial

## PUNTOS CLAVE

- Los resultados de un escenario tendencial son cruciales para tener una visión y una trayectoria del sector transporte a largo plazo. Esto permite entender su comportamiento y conocer sus características; también ayuda a identificar cuáles son los elementos que lo constituyen como uno de los sectores más contaminantes, pero al mismo tiempo, esa información es fundamental para ser utilizada en la generación e instrumentación de políticas y medidas para reducir sus emisiones y transitar a un sector más eficiente y sustentable.
- Para 2050, en un escenario tendencial, las emisiones aumentarían más del doble en comparación con el año 2016, pasando de 172 MtCO<sub>2</sub>e a 423 MtCO<sub>2</sub>e. Las emisiones acumuladas (TTW) de 2020 a 2050 ascenderían a 8.9 Gt. Esto, asumiendo únicamente las emisiones que se generarán por la combustión por el uso de los vehículos que conforman la flota vehicular. Si se toma en cuenta, adicionalmente las emisiones por la generación de electricidad que se requiere por la incorporación de vehículos eléctricos, las emisiones incrementarían un 20%.
- Se estima que para 2050 los kilómetros recorridos totales se duplicarán. Si no se detiene esta tendencia, el transporte privado motorizado representaría el 75 % de las emisiones del transporte de pasajeros.
- Considerando el crecimiento de población nacional, los residentes mexicanos viajarán un 40% más en 2050 con 10,450 pasajero-kilómetros por residente en comparación con 2016 con sólo 7,500 pkm.
- Los vehículos pequeños son más ineficientes en términos de kilómetro recorrido, por lo que se debe optar por los modos más eficientes en términos de emisiones por pasajero y tonelada. Esto indica que es importante hacer un cambio de transporte individual hacia transporte colectivo o modos más eficientes de transporte individual como la bicicleta. Para pasajeros, el modo de transporte más eficiente es el autobús, generando 27 gr de CO<sub>2</sub>e por kilómetro recorrido por pasajero. Viajar en autobús es casi 6 veces más eficiente que el automóvil.
- Para carga, el modo más eficiente es el ferrocarril, siguiendo por el tractocamión, consumiendo ~82-85 gr de CO<sub>2</sub>e por kilómetro recorrido por tonelada transportada.
- Trasladar la mercancía en tractocamión es 6 veces más eficiente que en camión ligero, esto considerando que se aprovecha la totalidad de su capacidad de carga. Por otro lado, si se optara por ferrocarril de carga en lugar de tractocamión, se podría reducir 54 gr de CO<sub>2</sub>e por tkm.
- Si bien, existe una mejora en la eficiencia energética implícita por el desarrollo tecnológico, esto no sería suficiente para detener el aumento de las emisiones. Es primordial incorporar medidas y tecnologías que permitan reducir las emisiones en el corto y largo plazo.

## E.1. METODOLOGÍA

Como se mencionó en la sección anterior, para la estimación de las emisiones del escenario tendencial se utilizó tanto la herramienta MYC como el modelo MOVES. El modelo MOVES-México<sup>5</sup> utiliza el año 2013 como referencia y proyecta la actividad vehicular y las emisiones hasta 2050. Los datos y resultados del modelo fueron utilizados para la mayoría de los datos de entrada requeridos para el inventario de referencia y el escenario tendencial en MYC.

La información de MOVES-México se basa en gran medida en datos proporcionados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), los cuales son actualmente los datos utilizados para las Contribuciones Nacionalmente Determinadas. Los datos e indicadores adicionales fueron discutidos y definidos entre IFEU e ICM. En los anexos del presente informe se proporcionan todas las fuentes de datos para todas las entradas de datos y las hipótesis.

Para el cálculo de las emisiones, la herramienta MYC requiere de ciertos parámetros de entrada. En este caso, se necesitaba proveer a la herramienta de información sobre los kilómetros recorridos por tipo de vehículo y el tipo de combustible utilizado, así como su consumo. A continuación, se detalla la estimación para cada parámetro. Como se ha mencionado, este estudio tiene un énfasis en el transporte de carga, por lo que para la determinación de cada parámetro se realizó una separación entre transporte de pasajeros y transporte de carga. Primero se presenta la estimación para el transporte de pasajeros y posteriormente para el transporte de carga.

### E.1.1. Transporte de pasajeros

#### CATEGORÍA DE VEHÍCULOS Y KILÓMETROS RECORRIDOS

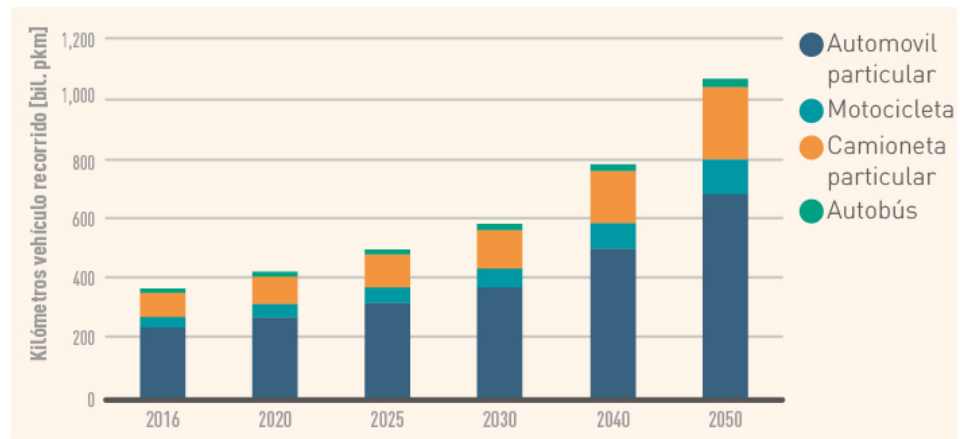
La Figura 22 muestra los kilómetros recorridos por vehículo (KRV) por categorías de vehículos de pasajeros en el escenario tendencial nacional. MOVES-México estima una tasa de crecimiento de alrededor del 3% por año, variando ligeramente entre las categorías de vehículos. En 2016, el kilometraje total alcanza los 362.700 millones de kilómetros, de los cuales el 64 % procede de pasajeros.

Por otro lado, el kilometraje del vehículo particular llegará a 683 mil millones de kilómetros en 2050, es decir, casi se duplicará su valor actual, mientras que la motocicleta ascenderá a 116 mil millones de kilómetros. Si no se detiene esta tendencia, el transporte privado motorizado representaría el 75 % de las emisiones del transporte de pasajeros.

---

5. USAID / INECC 2016.

**Figura 22.** Kilómetros recorridos por tipo de vehículo de pasajeros y año

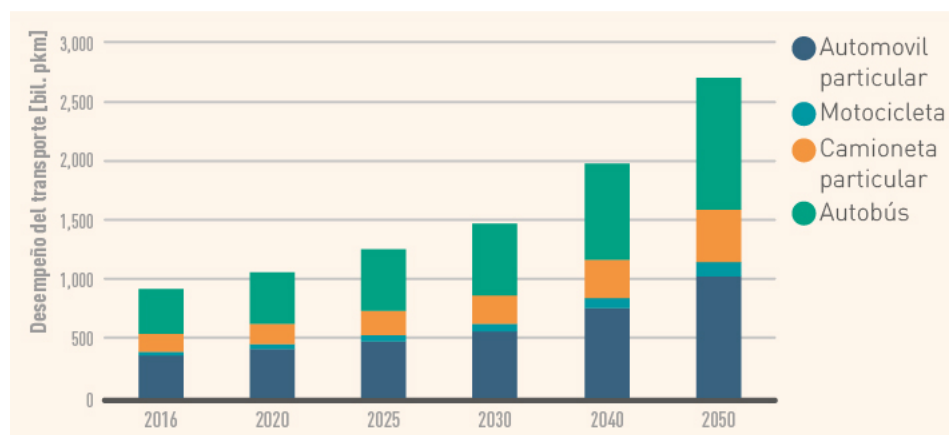


Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento del transporte de pasajeros resultante se muestra en la Figura 23. El rendimiento total del transporte de pasajeros alcanza casi 1 billón de pkm (pasajero-kilómetro por sus siglas en inglés) para 2016, y se estima que aumente hasta 2.7 billones en 2050 (lo que corresponde a un crecimiento de alrededor del 200%).

La repartición del pasajero-kilómetro muestra que la eficiencia del transporte difiere mucho entre el transporte privado y el transporte público. Los vehículos particulares representan sólo el 38% del pkm (vs. 64 % del kilometraje) mientras que los autobuses de transporte público representan el 41% del rendimiento del transporte en comparación con sólo el 3 % del kilometraje. Lo anterior se debe a una elevada tasa de ocupación de los autobuses. Estos valores coinciden con los datos de la encuesta Origen -Destino de la Zona Metropolitana del Valle de México, donde 60% de los viajes realizados con alguna unidad motriz son en transporte público.

**Figura 23.** Pasajeros-kilómetro totales por tipo de vehículo y año



Fuente: Elaboración propia.

### CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Una vez definidos los kilómetros por categoría de vehículo y tipo de combustible, el último parámetro de entrada necesario para el cálculo de las emisiones de GEI es el consumo de combustible. Estos datos de entrada también se han tomado de MOVES-México, excepto para motocicletas, para las cuales se tomaron de la Base de Indicadores de eficiencia energética (BIEE) de la Conuee (CONUEE, 2018).

Se espera que el consumo disminuya con el tiempo, principalmente debido al desarrollo tecnológico. Estas mejoras varían desde un 3% para los autobuses de gasolina, mientras que los camiones de pasajeros de gasolina deberían mejorar un 25 % durante todo el período.

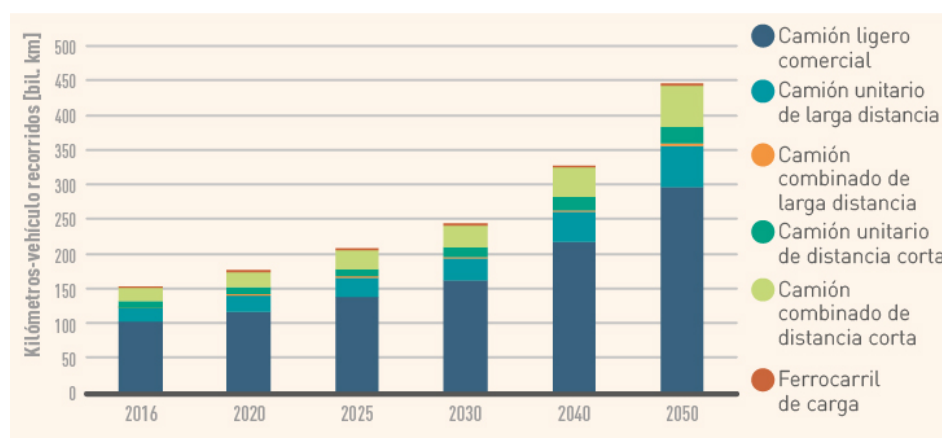
## E.1.2. Transporte de carga

### CATEGORÍA DE VEHÍCULOS Y KILÓMETROS RECORRIDOS

MOVES-México y MYC cuentan con cinco categorías de vehículos para el sector del transporte de carga: Camión Comercial Ligero, Camión unitario de Corta Distancia, Camión unitario de Larga Distancia, Camión combinado de Corta Distancia y Camión combinado de larga Distancia. MYC de igual manera consideró el transporte de mercancías por ferrocarril, aunque no está incluido en MOVES-México.

La Figura 24 muestra los kilómetros recorridos por las categorías de vehículos de carga para el escenario tendencial. En 2016 el camión comercial ligero es la categoría de vehículos más grande, representando el 67% del total de 150 mil millones de kilómetros. El kilometraje total del transporte de mercancías sigue siendo inferior al del transporte de pasajeros, con sus 1,066 billones de kilómetros en 2050, frente a los 440 billones de kilómetros del sector del transporte de mercancías. Por su parte, las emisiones del ferrocarril son extremadamente bajas.

Figura 24. Kilómetros anuales por categoría de vehículo de carga.

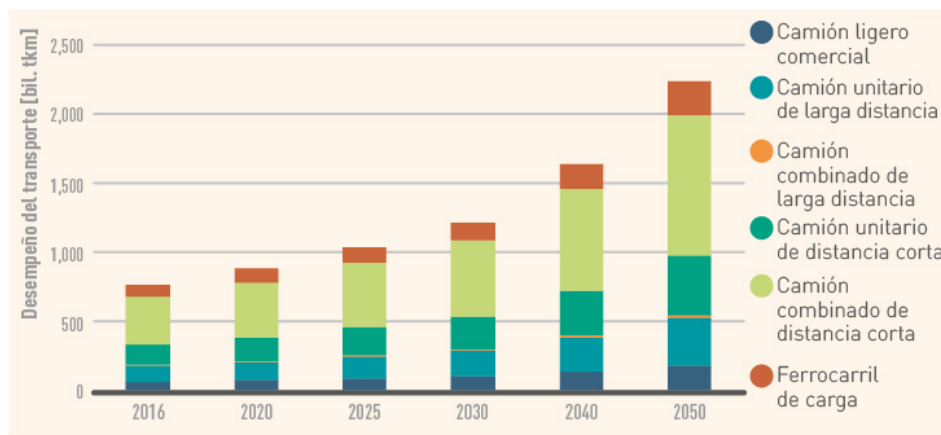


Fuente: Elaboración propia.



El rendimiento de transporte correspondiente se muestra en la Figura 25. El camión comercial ligero representa sólo el 8% de las prestaciones de transporte, mientras que los camiones de larga distancia traen con su carga actual 17.1 un rendimiento muy alto.

**Figura 25.** Toneladas-kilómetro por categoría de vehículo y año.



Fuente: Elaboración propia.

En 2016, la distancia total de los vehículos de carga fue de 761 billones de tkm. Debido al elevado factor de carga, los trenes de mercancías sólo representan el 0.02 % de KRV del transporte de mercancías, pero el 10.9 % de todos los toneladas-km. El efecto contrario puede observarse en el caso de los camiones comerciales ligeros, ya que contribuyen con el 67 % de KRV, pero sólo con el 8 % de la tonelada-km.

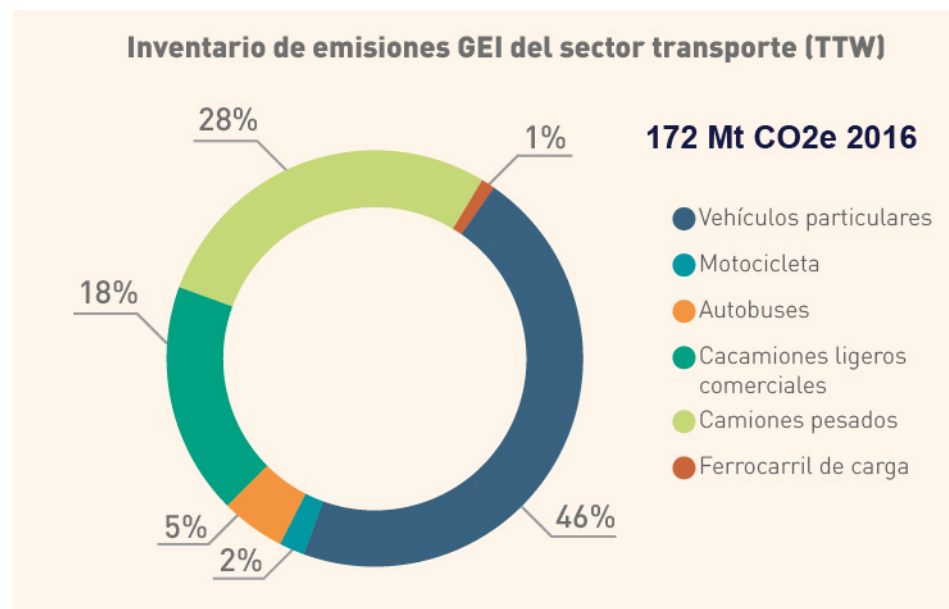
#### CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Todos los supuestos de consumo de combustible de las categorías de vehículos de transporte de mercancías por carretera se han adoptado desde MOVES-México, a excepción de los trenes de carga, el consumo de diésel se derivó del combustible total utilizado por los trenes de carga mexicanos en 2016 y el total de kilómetros recorridos (ARTF, 2021). MOVES-México asume una eficiencia en el combustible de un 6-28% para el transporte de carga.

## E.2. RESULTADOS DEL ESCENARIO TENDENCIAL

En 2016, las emisiones totales de GEI del tanque a la rueda fueron de 172 Mt CO<sub>2</sub>e distribuidas casi por igual entre mercancías y pasajeros. La Figura 26 presenta una visión general de la distribución de emisión por categorías de vehículos. Los resultados del WTW ascienden a 206.6 Mt CO<sub>2</sub>e, es decir, un 20 % más que las emisiones de TTW.

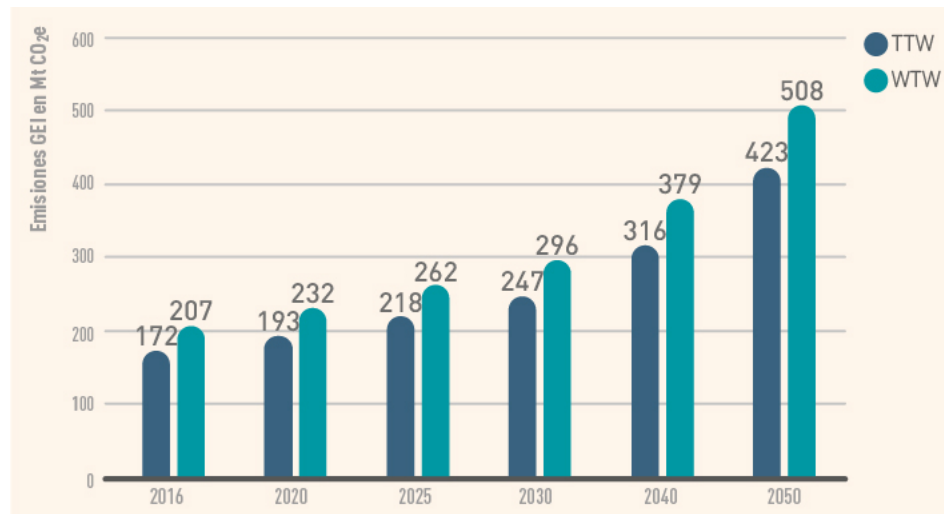
**Figura 26.** Inventario de emisiones GEI para el transporte carretero 2016.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 27 muestra los resultados de GEI para el escenario tendencial hasta 2050. Las emisiones se han duplicado en comparación con 2016. Las emisiones acumuladas (TTW) de 2020 a 2050 ascienden a 8.9 Gt.

**Figura 27.** Emisiones GEI del escenario tendencial.



Fuente: Elaboración propia.

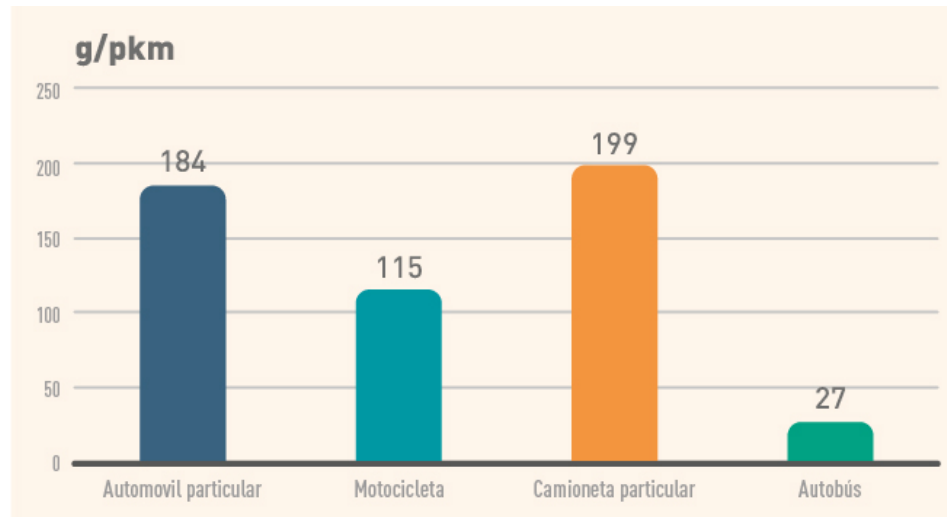
**Nota:** TTW significa emisiones del sector transporte, mientras que WTW considera las emisiones de la generación de electricidad.

Por otro lado, los residentes mexicanos viajarán un 40% más en 2050 con 10,450 pkm por residente en comparación con 2016 con sólo 7,500 pkm.

El factor de emisión (FE en g CO<sub>2</sub>e/pkm) para el transporte privado está disminuyendo de 155 a 139 (2016-2030) gracias al aumento de la eficiencia energética (aproximadamente -10%). Del mismo modo, el factor de emisión del transporte de mercancías disminuye en torno al 6% en el mismo período. En términos generales, las emisiones de GEI por peso disminuirían aproximadamente de 219 ton/peso a 198 ton/pesos en 2040. Sin embargo, esta disminución no sería suficiente para detener el aumento de las emisiones.

La Figura 28 muestra la eficiencia de los diferentes modos de transporte de pasajeros. Los autobuses emiten en promedio 27 gCO<sub>2</sub>eq/pkm, mientras que un coche emite en México alrededor de 184 gCO<sub>2</sub>eq/pkm, lo que indica que viajar en autobús resulta 6 veces más eficiente que el automóvil. Asimismo, se observó que las camionetas particulares que tienen un motor más grande y un peso mayor son las que emiten más emisiones por pasajero transportado, lo cual genera un problema pues sus ventas nacionales en los últimos años han aumentado mientras que la de los vehículos compactos han disminuido. Otro potencial radica en la eficiencia de los modos privados. En 2019 en Alemania la emisión media de GEI por pasajero-kilómetro para los automóviles es de 154 g mientras que en México es de 184 g.

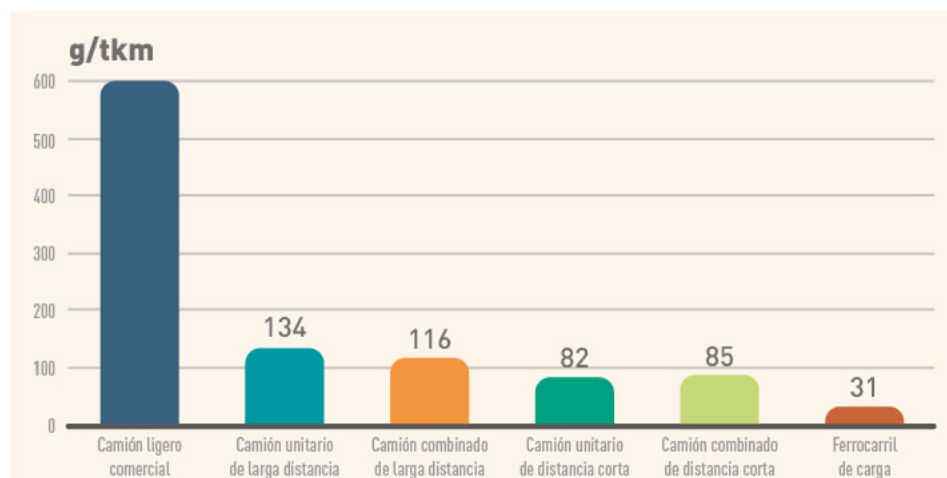
**Figura 28.** Emisiones GEI por persona-kilómetro por modo de transporte de pasajeros



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el sector del transporte de mercancías, los camiones comerciales ligeros son mucho menos eficientes que los camiones de corto y largo recorrido, que utilizan alrededor de 6 veces la energía para transportar la misma cantidad de mercancías. El tren de mercancías es el modo más eficiente, emitiendo solo 27 g de CO<sub>2</sub>eq/tkm. En comparación en Alemania, los camiones emiten 113 g CO<sub>2</sub>eq/tkm de todos los tamaños confundidos. En México, todas las categorías de transporte por carretera emiten sólo un 20% más con 140 g de CO<sub>2</sub>eq/tkm. El tren de carga emite gracias a la gran electrificación de la red sólo 17 g CO<sub>2</sub>eq/tkm i.e. casi la mitad de las emisiones de trenes en México.

**Figura 29.** Emisiones GEI por persona-kilómetro por modo de transporte de carga.



Fuente: Elaboración propia.

## E.3. CONCLUSIONES

- El total de la flota estimada generará una creciente demanda de energía, generando una fuerte presión para garantizar el abastecimiento de combustibles. Para 2050, en el escenario tendencial se consumirán 137% más de gasolina y 167% más de diésel.
- Para 2050, las emisiones crecerán 145% en comparación con 2016.
- Los residentes mexicanos viajarán un 40% más en 2050 con 10,450 pasajero-kilómetros por residente en comparación con 2016 con sólo 7,500 pkm, lo que indica que el uso del vehículo incrementará. Esto está influenciado en parte por la extensión del área de las ciudades.
- Las emisiones de GEI por peso disminuirían de 219 ton/peso a 198 ton/pesos en 2040. Esta disminución no sería suficiente para detener el aumento de las emisiones, por lo que se necesitan realizar acciones para mejorar su rendimiento.
- Las partículas PM 2.5 se duplicarán al 2050, ocasionando posibles problemas respiratorios y mayor número de muertes prematuras vinculadas a esto.
- Surgirá mayor congestión vehicular y uso de combustible (un vehículo consume 15% más de combustible estando en tráfico) y generación de ruido, lo que influirá en la calidad de vida de la población debido a su vinculación con las externalidades negativas como estrés, perturbaciones de sueño, déficit de atención, entre otras (el transporte privado motorizado representaría el 75 % de las emisiones del transporte de pasajeros).
- Aumentarán el número de siniestros ocasionados por el número elevado de vehículos. Destacando que la mayoría de las personas fallecidas son peatones y motociclistas.

# F. Medidas evaluadas para el escenario bajo en emisiones

## PUNTOS CLAVE

- Con el propósito de reducir las emisiones del sector transporte para el año 2050 y transitar hacia un escenario bajo en carbono, se analizaron medidas y acciones que cuentan con un enfoque integral para la evaluación del sector, ya que no solo se centra en tecnologías alternativas de vehículos, sino también en optimizar y hacer más eficiente el transporte.
- Para la evaluación de estas medidas, se utilizó el enfoque Evitar-Cambiar-Mejorar (ASI, por sus siglas en inglés). En total se analizaron y evaluaron 17 medidas, las cuales se distribuyen de la siguiente manera: seis corresponden al grupo de **Evitar**, cuatro en **Cambiar** y siete en **Mejorar**.
- Se incluyen medidas para cada una de las categorías de vehículos: transporte de pasajeros en vehículos particulares, transporte de pasajeros en transporte público, transporte de carga de mercancías urbano y ligero y transporte de carga de larga distancia y pesados.
- Una de las medidas propuestas con mayor impacto en la reducción de emisiones es el reparto modal entre el transporte de carga carretero a ferrocarril, dado que el consumo de energía por tonelada-kilómetro transportada resulta casi 5 veces más eficiente trasladarla en ferrocarril.
- Se identificó que aquellas medidas donde se requiere hacer un cambio modal para transporte no motorizado son más difíciles de estimar dada la falta de datos nacionales. Esto abre la oportunidad a generar esquemas de cooperación con gobiernos locales para crear bases de datos y con eso implementar medidas locales.

## F.1. METODOLOGÍA

Una vez que se generó el escenario tendencial, el siguiente paso consistió en calcular el escenario bajo en carbono. Este es un escenario en el que se implementan nuevas medidas ambiciosas con el fin de disminuir el impacto ambiental del sector del transporte. Uno de los principales objetivos del escenario bajo en carbono es apoyar el cumplimiento para limitar las emisiones del sector transporte y permanecer por debajo del escenario de 1.5°C, lo que corresponde a una emisión acumulada de 7 Gt para 2050, según un estudio reciente<sup>6</sup>. Por tanto, es muy importante reducir drásticamente las emisiones lo antes posible.

Las medidas que podrían dar lugar a tal cambio pueden subdividirse en dos estrategias (Figura 30). La primera consiste en una reducción de la demanda de transporte, esto incluye medidas para evitar y medidas de desplazamiento. La segunda es una estrategia de mejorar y cambiar el consumo de combustible.

Estas estrategias se han clasificado en tres grupos que siguen el concepto Evitar- Cambiar- Mejorar o ASI (por sus iniciales en inglés). Este paradigma se ha utilizado en muchos estudios relacionados al sector transporte como una manera integral de hacerlo más sustentable (Bongardt et al., 2019; Replogle et al., 2013).

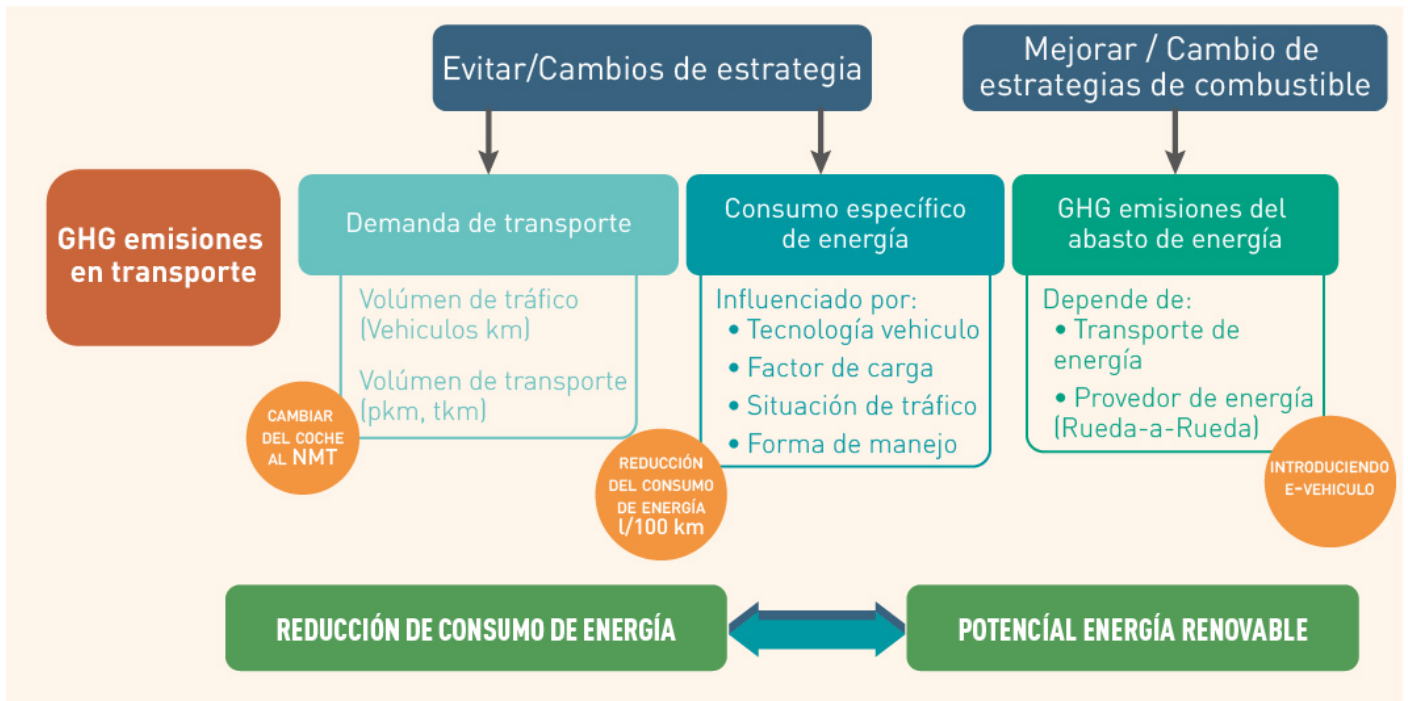
- Categoría **Evitar/reducir**. Se incluyen las medidas que favorecen el aumento de la eficiencia energética en el sistema de transporte, a través de planeación urbana o gestión de la demanda de transporte que propician la reducción de distancia recorrida o evitan la necesidad de viajar.
- Categoría **Cambiar/mantener**. Se incluyen los instrumentos que pretenden mejorar la eficiencia del viaje mediante cambios modales principalmente, es decir un cambio modal de ciertos modos de transporte ineficientes en términos energéticos por modos más eficientes, principalmente por transporte no motorizado (senderismo o ciclismo); así como incrementar el uso del transporte público y reducir el uso de los vehículos particulares.
- Categoría **Mejorar**. Medidas que se enfocan en aquellas tecnologías de vehículos que resultan más eficientes en términos de energía y emisiones; así como en la eficiencia del combustible y en la optimización de la infraestructura.

---

6. Rutas Nacionales de Descarbonización para México al 2030 y proyecciones a 2050, agosto 2020, México.



Figura 30. Metodología ASI para la reducción de emisiones en el sector transporte.



Fuente: Ifeu.

## F.2. MEDIDAS EVALUADAS

Como se mencionó anteriormente, en este estudio se evaluaron y analizaron 17 medidas que pueden ser instrumentadas en el sector transporte con el objetivo de reducir sus emisiones. La siguiente tabla muestra el total de medidas clasificadas en las tres categorías previamente explicadas: Evitar y reducir, Cambiar y mantener, y Mejorar.

CATEGORÍA	MEDIDA
Evitar y reducir	Carriles especiales de vehículo compartido
	Adopción parcial de actividades en línea
	Sistemas de coordinación para el transporte de carga
	Optimización en las entregas de última milla
	Incremento de la capacidad de carga de los tractocamiones y camiones de carga
Cambiar y mantener	Optimización de las rutas de transporte público en zonas metropolitanas
	Reparto modal del transporte de carga carretero a ferrocarril
	Programa de Planeación urbana y sistemas de transporte integrados
	Sistemas de bicicletas públicas
	Cambio de camiones unitarios por tractocamiones

CATEGORÍA	MEDIDA
Mejorar	Programa de chatarrización y renovación para el transporte de carga Bicicletas de carga Vehículos eléctricos Vehículos híbridos Vehículos de celdas de combustible Renovación de la flota de vehículos ligeros particulares Cursos de conducción técnico-económicos

## F.2.1. Medidas de evitar y reducir

### CARRILES ESPECIALES DE VEHÍCULO COMPARTIDO

Para 2006, se registraban 200 proyectos de carriles para vehículos de alta ocupación a nivel mundial, esta estrategia de manejo de tráfico es utilizada para promover e incentivar el uso compartido de vehículos, aliviando así la congestión y maximizar la capacidad de transporte de personas en vialidades.

Pueden variar el número mínimo de personas dentro del vehículo, así como los horarios de funcionamiento como carril exclusivo (Caltrans, 2018). La seguridad de estos carriles es esencial; por ejemplo, en California, Estados Unidos, la multa por una infracción de este tipo representa un mínimo de \$490 USD, pudiendo ser mayor para conductores reincidentes (Caltrans, 2018).

En Houston, Estados Unidos, la Autoridad Metropolitana de Transporte del condado Harris (METRO), opera un total de casi 200 km de carriles exclusivos para vehículos de alta ocupación (HOV, por sus siglas en inglés) que sirven a la ciudad de Houston y a ocho condados aledaños. Estos carriles están construidos principalmente para autobuses. Aunque también promueven el uso compartido de vehículos.

Este sistema es predominantemente para 2 pasajeros, con algunos corredores designados para 3 pasajeros en horas pico. Un reporte de 2006 mostró que los HOVs administrados por METRO manejaron 118,000 viajes de lunes a viernes, al ser utilizados por aproximadamente 36,400 vehículos multi-pasajeros. Concluyendo que los carriles HOV tuvieron menores tiempos promedio de recorrido que corredores adyacentes y le ahorraron al pasajero alrededor de 12 a 22 minutos por viaje. Actualmente, METRO ha convertido los carriles HOV a carriles de peaje de alta ocupación (HOT, por sus siglas en inglés), permitiendo transitar vehículos con un solo pasajero a un costo determinado, solamente durante horas de baja congestión vial (DoT, 2015).

Para la Ciudad de México, el Plan de Reducción de Emisiones del Sector Movilidad en la Ciudad de México impulsa la acción de coche compartido en algunas vías de acceso controlado obligatorio de 7 a 10 h, a 2020 (Gobierno de la Ciudad de México, 2020). Sin embargo, a la fecha no se tiene reporte de qué vialidades están implementando esta opción. Además, la Ley de Movilidad de la Ciudad de México no menciona a los vehículos compartidos como parte de los usuarios de carriles exclusivos (Ley de Movilidad de la Ciudad de México, 2020).

Por el contrario, el estado de Nuevo León, donde se encuentra la segunda metrópolis más importante del país, menciona que se debe contar con infraestructura especializada para vehículos de uso compartido (Fracción V Art. 133 de Ley de Movilidad Sostenible y Accesibilidad para el estado de Nuevo León).

En un estudio por el ITDP de 2008, se propone la Calzada de Tlalpan como vialidad con posibilidad de albergar un carril HOV. Tomando esto en cuenta, además de su configuración y flujos vehiculares, el sistema a implementar en esta vialidad podría: compartir carril con el transporte público, clasificar aforos vehiculares por nivel de ocupación, establecer línea base, caracterizar el corredor, contar con mecanismos de sanción claros y dispositivos de incorporaciones y desincorporaciones (Baranda Sepúlveda, 2009).

#### **ADOPCIÓN PARCIAL DE ACTIVIDADES EN LÍNEA**

El teletrabajo es la actividad laboral remunerada que un trabajador realiza en acuerdo con la empresa para la que labora para realizar sus actividades fuera de la sede de la empresa, comunicándose con apoyo de las tecnologías de la información. Generalmente el lugar donde se realiza el trabajo es el domicilio del empleado (Martínez Sánchez, 2012).

Debido al despliegue masivo de teletrabajo a nivel global por la pandemia de COVID-19, se ha impulsado el estudio de los beneficios del teletrabajo y cambios en la regulación. Esto se vio claramente reflejado en la reducción de los traslados de los hogares a las oficinas, así como de los viajes de trabajo. Si bien todavía no se han determinado específicamente los beneficios en reducción de emisiones, GEI y contaminante criterio, existen algunas estimaciones preliminares que indican las ventajas de esta medida. A lo largo de este periodo se ha demostrado que existen muchas actividades, sobre todo las relacionadas con trabajo de oficina, que pueden realizarse remotamente.

Además de los estudios enfocados a los impactos ambientales, esta medida debe ir acompañada de regulación laboral. En México las recientes reformas al artículo 331 de la Ley Federal del Trabajo en materia de teletrabajo, establece que las empresas deben, entre otras cosas, proporcionar, instalar y encargarse del mantenimiento de los equipos necesarios para el teletrabajo y recibir oportunamente el trabajo y pagar los salarios en la forma y fechas estipuladas. DE la misma manera, también se contemplan responsabilidades de los trabajadores como el cuidado en la guarda y conservación de los equipos, materiales y útiles que reciban del patrón, así como atender las políticas y mecanismos de protección de datos utilizados en el desempeño de sus actividades, así como las restricciones sobre su uso y almacenamiento.

#### **SISTEMAS DE COORDINACIÓN PARA EL TRANSPORTE DE CARGA**

Los sistemas de coordinación para el transporte de carga organizando el funcionamiento de los vehículos pesados entre diferentes compañías genera reducción de consumo de combustible ya que se podrían reducir los viajes en vacío, así como identificar la ruta óptima. Para ello se podrían incluir terminales especiales, corredores exclusivos para transporte de carga, así como comunicación

GPS para encontrar la mejor ruta en tiempo real, con el objetivo de reducir los tiempos de traslado.

Dentro de las barreras identificadas se encuentra la falta de coordinación a nivel industrial y cooperación. Así como la estructura del mercado y las distintas escalas entre las compañías, ya que muchas tienen muy pocos vehículos de carga (hombre-camión) y las mínimas empresas son a mayor escala y las que abarcan el mayor número de vehículos. De acuerdo con el estudio "The future of trucks" de la IEA, la colaboración y carga compartida entre distintas empresas de transporte de carga tiene un potencial de ahorro de energía de hasta el 15%.

(Islas-Samperio et al., 2019) indica que en México 36.8% del total de los viajes de carga son viajes en vacío, lo cuales propone que en el quinto año de implementación se disminuyan un 50% y se mantenga en ese porcentaje en lo que resta del periodo. Esta medida ayuda puesto que las compañías al compartir camiones de reparto en rutas afines ayudan a reducir costos de operación y evita que ninguno de los vehículos regrese en vacío.

#### **OPTIMIZACIÓN EN LAS ENTREGAS DE ÚLTIMA MILLA**

Mejorar la logística urbana es otro elemento clave para la mitigación del sector transporte carretero puesto que la demanda de este sector continuará creciendo de manera exponencial. Es por ello por lo que se requiere desde este momento adoptar medidas para hacer más eficiente el servicio de entregas. Debido a que no se encontraron casos de estudio para este tipo de vehículos y uso a nivel nacional, se proponen un paquete de acciones estratégicas que se incluyen dentro de la misma medida pero que se podrían considerar cualquiera de ellas, dependiendo el área urbana y sus características particulares.

La generación de centros de consolidación urbanos en ciudades principalmente europeas y algunas en Japón han presentado ahorros de 30-80% de emisiones GEI pues se reduce el tráfico local al agrupar dentro de una misma instalación que se encuentra en la zona urbana y más cerca de los puntos finales de entrega mercancías de distintas empresas para que posteriormente sea distribuida a los usuarios finales con vehículos más eficientes y pequeños (IEA, 2017). Otra acción complementaria sería las zonas de carga y descarga dentro de las zonas urbanas, donde se asignan espacios exclusivos en la vía pública para permitir las operaciones de carga y descarga de mercancías. Esta medida tiene mayores beneficios en núcleos urbanos con alta densidad de comercios y donde actualmente se genera congestión vehicular (CAF, 2019).

#### **INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS TRACTOCAMIONES Y CAMIONES DE CARGA**

Para una demanda de transporte dada, aumentar la carga es una buena manera de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin reducir la movilidad del transporte de mercancías. Los principales factores determinantes de la limitación de la carga son la capacidad del vehículo, la cual puede estar limitada por las normas de peso y dimensiones (por ejemplo, dimensiones máximas autorizadas) y/o por las características de la ruta, el factor de carga de los viajes cargados y el porcentaje de los viajes en vacío.

El factor de carga de los viajes realizados se ve influida por el volumen y las características de la demanda, principalmente el tamaño del envío, el tipo de mercancía y las prácticas de entrega inmediata, mientras que los viajes en vacío están más bien influidos por el desequilibrio de las operaciones físicas. Estas dos problemáticas pueden mejorarse optimizando la información de las empresas del transporte, su eficacia en la agrupación de paquetes y envíos en cargas consolidadas y en la reducción de las barreras del mercado (Rizet et al., 2012).

#### **OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN METROPOLITANAS**

De acuerdo con (Islas-Samperio et al., 2019) la optimización de las rutas resulta en una reducción de la flota de autobuses urbanos en un 20% en ciudades con más de un millón de habitantes y 44% de reducción en ciudades entre 500 mil a 1 millón de habitantes.

Esto también influye dado que muchas de estas rutas se generaron sin un análisis previo de demanda y oferta de los viajes, por lo que muchas de las rutas actuales muestran el mismo tamaño de la flota durante todo el día, generando una sobreoferta en horas que no son pico y rezagando otras posibles rutas potenciales.

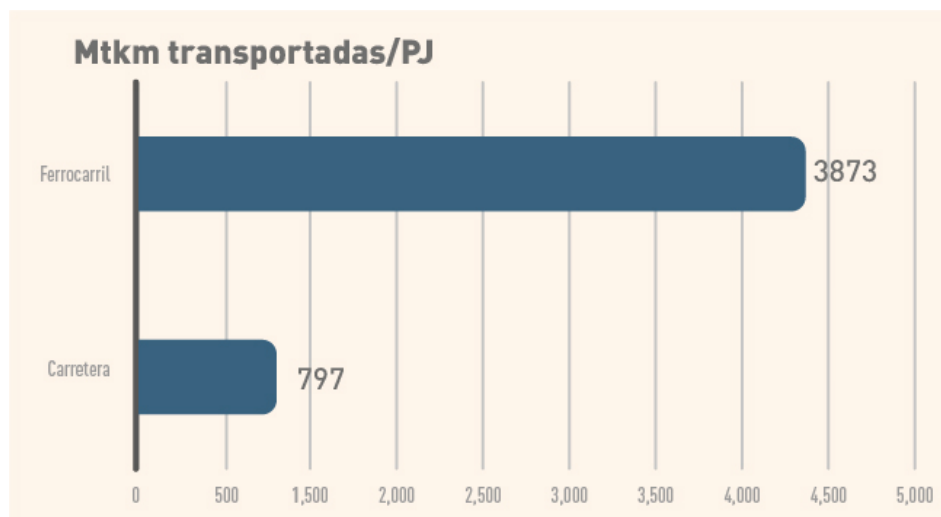
## **F.2.2. Medidas de cambiar y mantener**

#### **REPARTO MODAL DEL TRANSPORTE DE CARGA CARRETERO A FERROCARRIL**

Esta medida tiene como objetivo incentivar el reparto modal entre el autotransporte y el ferrocarril en el transporte terrestre de carga. Esta medida tiene distintos beneficios como disminuir el congestionamiento carretero, los accidentes viales, la contaminación ambiental, así como mejorar el rendimiento en las toneladas-kilómetro transportadas, puesto que se disminuye el consumo de energía utilizada.

Como se puede observar en la siguiente gráfica, el consumo de energía por tonelada-kilómetro transportada resulta casi 5 veces más eficiente trasladarla en ferrocarril.

**Figura 31.** Toneladas-kilómetro transportada por Petajoules consumido por modo de transporte.



Fuente: Elaboración propia con datos de Conuee.

El IMT desarrolló en 2014 un modelo del reparto modal en México, donde analizó la red de transporte terrestre que incluye ambos modos para asignar los flujos de carga en los tramos de esta red minimizando los costos de la transportación de las cargas. Donde obtuvieron que el 40% de carga movida por carretera podría ser transportada por ferrocarril e indican que el movimiento intermodal con distancias mayores a 800 km es un mercado atractivo para la transferencia carretera-ferrocarril.

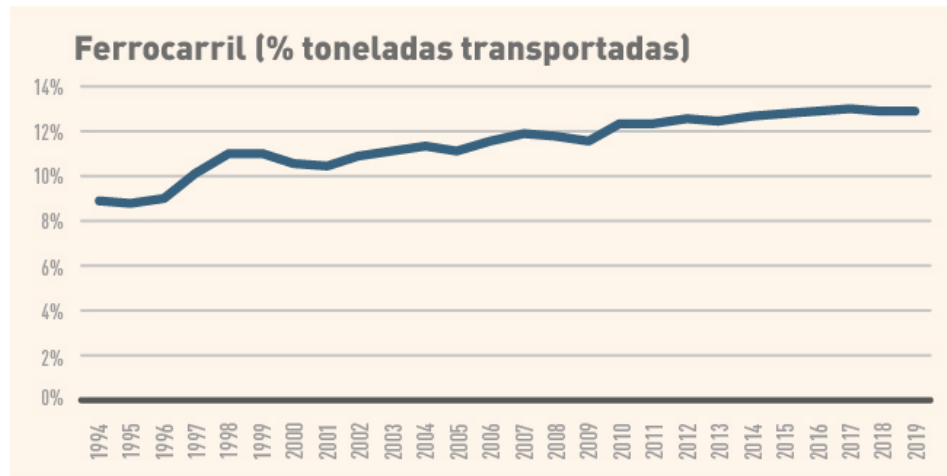
Es importante mencionar que no todos los movimientos y tipos de carga pueden transferirse al ferrocarril. Así como que se deben realizar inversiones en infraestructura y equipamiento y establecer puntos y/o casetas de interconexión entre ambos modos.

Asimismo, el INECC considera esta medida dentro de sus acciones de mitigación en el sector transporte para los NDC. En este escenario se considera un cambio en la proporción de las toneladas distribuidas por ferrocarril, aumentando de 10% a 20% en el año 2030. En 2013 la carga por ferrocarril representaba el 10% del total de la carga, por lo que en el año 2030 representará el 25%.

Actualmente, el 25 % de las toneladas transportadas por tierra se transportan por ferrocarril (ARTF, 2019). De todos los sectores de transporte (aéreo, marítimo, por carretera, ferroviario), esto representa el 18% del total de toneladas-kilómetro.

Tras un período de declive, el transporte de mercancías por ferrocarril se ha ampliado en los últimos años y se han mejorado el marco reglamentario y la cooperación, por lo que las perspectivas de transporte por ferrocarril son más positivas. Todavía hay unas pocas líneas ferroviarias usadas anteriormente que podrían ser reanimadas.

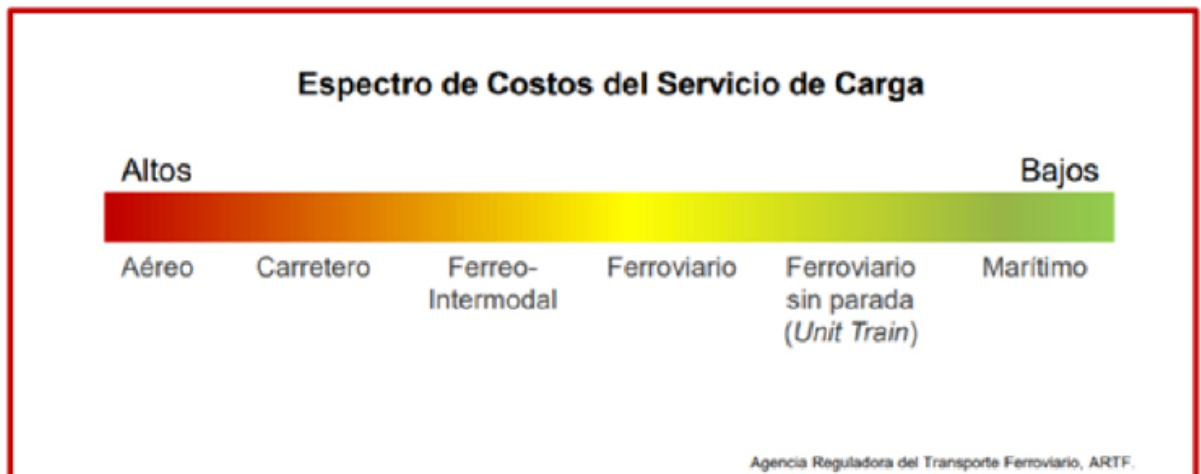
**Figura 32.** Distribución de toneladas transportadas por ferrocarril periodo 1994 – 2019.



Fuente: ARTF, 2020.

En términos económicos, el precio por tonelada transportada en ferrocarril suele ser más barato que en carretero, sin embargo, ese beneficio se potencializa cuando no se realizan paradas o no se comparte la vía entre concesionarios.

**Figura 33.** Costos del servicio de carga por modo de transporte.



Fuente: Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (ARTF, 2017).

**PROGRAMA DE PLANEACIÓN URBANA Y SISTEMAS DE TRANSPORTE INTEGRADOS**

Esta medida es aplicable para las zonas metropolitanas (ZM); para ello, se propone que cada ciudad desarrolle su Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS) con el fin de integrar la planeación de la movilidad dentro de los planes de desarrollo urbano y así mejorar la conectividad de los habitantes mediante diferentes modos de transporte conectados entre sí, generando una red ágil de transporte público.



La integración de los sistemas de transporte público es un factor clave para incrementar el uso del transporte público, para esta medida se deben considerar estrategias para lograr el éxito de implementación; como la renovación de la flota o migrar a autobuses de tránsito rápido (BRT), generar una tarjeta única de pago entre todos los tipos de vehículos y crear estaciones especializadas donde se compartan los modos de transporte público con rampas de acceso para sillas de ruedas y bici estacionamientos en terminales y estaciones (cerrados y seguros para fomentar el uso diario).

Al mismo tiempo, dicho Programa de Planeación debe promover la densificación urbana, limitando la expansión territorial hacia las periferias, tomando en cuenta la regulación ambiental en los asentamientos humanos como evitar los usos de suelo segregados y la suburbanización extensiva.

### SISTEMAS DE BICICLETAS PÚBLICAS

La incorporación de los sistemas de bicicletas compartidas dentro de las zonas urbanas tiene gran importancia como primer acercamiento en el cambio modal de vehículos particulares ya que motiva a la población a incrementar el ciclismo y generar movilidad activa.

En este servicio de bicicletas compartidas la bicicleta es propiedad de cierto proveedor que es el encargado de su mantenimiento y distribución de estaciones y pagos. Por otro lado, el gobierno local es el encargado de la infraestructura y vialidades ciclistas seguras con el fin de aumentar su efectividad.

De acuerdo con (Islas-Samperio et al., 2019) se asume que esta medida podría generar que 3% del total de los viajes que originalmente se realizan en automóvil privado, autobús, taxi o caminando, sean realizados con estos sistemas de bicicleta compartida.

En Europa, ya son muchas las ciudades que se han sumado a la iniciativa de implementar un sistema de bicicletas públicas para moverse por la propia ciudad y la zona metropolitana. Ya en el año 2016 existía un alto grado de penetración en diversas ciudades. Algunos ejemplos se muestran en la tabla adjunta.

**Tabla 6.** Características de los sistemas de bicicleta pública en diversas ciudades europeas.

CIUDAD	ESTACIONES	BICICLETAS	BICICLETAS / 1,000 HABITANTES
Barcelona	420	6,000	3.7
Valencia	275	2,750	3.5
Sevilla	250	2,500	3.6
Lyon	343	4,000	8.3
Niza	171	1,200	3.5

CIUDAD	ESTACIONES	BICICLETAS	BICICLETAS / 1,000 HABITANTES
París	1,451	20,600	9.2
Bruselas	305	3,700	3.2
Londres	718	9,100	1.1
Stuttgart	75	400	0.7
Viena	94	1,200	0.7

Fuente: Pons, 2016.

Además, ciudades como Copenhague incluyen un sistema de bicicletas públicas compartidas como parte integral del sistema de transporte público de la ciudad para 2025, con igualdad de condiciones frente a autobuses, trenes y metro. Esto lo incluye también en la integridad del sistema de pagos del transporte público. La combinación de bicicleta y transporte público se convierte de esta forma en una gran alternativa frente a los coches (City of Copenhagen. The Technical and Environmental Administration., 2011).

En Estados Unidos, la ciudad de Chicago, entre otras, cuenta con un sistema de bicicletas públicas compartidas con 7 años de antigüedad y que continúa en expansión. El sistema de Chicago comenzó en 2013 con 75 estaciones de bicicletas. En 2019 ya contaba con 594 estaciones en Chicago y 14 en Evanston, sumando 5,800 bicicletas. La empresa que gestiona el sistema planea doblar la cantidad en 2021 e incluir también 10,500 bicicletas con asistencia eléctrica (Wisniewski, 2019).

En México, el caso de estudio más significativo es el de la Ciudad de México a través de su programa EcoBici, el cual se puso en marcha el 16 de febrero de 2010. En 2018 el sistema EcoBici contaba con 6,500 bicicletas (340 de ellas con pedaleo eléctrico asistido) y 480 estaciones (28 de ellas eléctricas). Además, se planea una expansión hasta alcanzar las 10 mil bicicletas en 2024 y el sistema está conectado con 5 sistemas de transporte público masivo (Secretaría de Movilidad. Gobierno de la Ciudad de México., 2018).

#### **CAMBIO DE CAMIONES UNITARIOS POR TRACTOCAMIONES**

Para esta medida se propone que parte de los camiones unitarios utilizados para el transporte de carga de largas distancias se sustituyan por tractocamiones.

Esta medida tiene como beneficio reducción en kilómetros recorridos por vehículo y en los vehículos totales, pues los tractocamiones tienen mayor capacidad de carga que los camiones unitarios, generando eficiencia en el consumo de combustible por tonelada transportada-kilómetro, como se observó en el apartado del escenario tendencial.

En Alemania se observó que, por tonelada transportada, un camión remolque grande es aproximadamente 3 veces más eficiente energéticamente que un ca-

mión pesado pequeño (IFEU, 2012). Asimismo, la IEA estima un ahorro del 29% en consumo de energía al implementar esta medida (IEA, 2017).

### F.2.3. Medidas de mejorar

Para los kilómetros restantes, que no podían evitarse o desplazarse a los modos más ecológicos, por ejemplo, el transporte público o el ferrocarril, su impacto debería reducirse en la medida de lo posible a través del cambio a fuentes de energía de bajas emisiones y/o reducción del consumo de combustible.

#### BICICLETAS DE CARGA

El uso de bicicletas asistidas en el transporte de mercancías es una alternativa eficiente para la transportación de aquellas mercancías urbanas (última milla) de distancias cortas y medianas. Mediante el uso de una bicicleta los mensajeros pueden lograr un alto nivel de productividad, especialmente en la última milla en tráfico urbano, en caso de que exista una infraestructura ciclista adecuada. Los municipios también se benefician, porque se reducen los problemas asociados con las operaciones de distribución tradicionales (por ejemplo, estacionamiento en doble fila, ruido y emisiones contaminantes).

En algunos países ya se han realizado proyectos piloto de esta alternativa. En Alemania, varias empresas de mensajería ya han participado en proyectos piloto para probar bicicletas de carga con soporte eléctrico para entregas de paquetes en ciudades como Hamburgo y Berlín. En Londres desde 2017 se cuenta con el servicio Pedal me para transporte de mercancías y pasajeros, en un estudio evaluando su desempeño en carga se encontró que el servicio realizado fue en un promedio de 1.61 veces más rápido que el realizado por la camioneta van. Además, en los 98 días de trabajo muestreados, Pedal me ayudó a ahorrar 3,896 kg de CO<sub>2</sub> y más de 5.5 kg de NO<sub>x</sub> (Verlinghieri et al., 2021).

#### VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, HÍBRIDOS Y DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

Las opciones disponibles para el uso de electricidad en el transporte por carretera son en vehículos eléctricos con batería (BEV) y sistemas de carreteras eléctricos (ERS, por sus siglas en inglés) o bien para la producción de combustibles renovables como el hidrógeno para su uso en vehículos de celdas de combustible (FCEV) o combustibles sintéticos (potencia a líquidos = PtL) que pueden utilizarse en motores de combustión convencionales.

La eficiencia entre cada tecnología difiere considerablemente (véase la figura 35). En los vehículos eléctricos de batería (VEB), el 70-80% de la energía consumida está disponible para movilizar el vehículo; la eficiencia es mucho más alta que para los combustibles convencionales (p. ej., diésel). Por otro lado, la producción de combustibles a partir de electricidad requiere varias conversiones que conducen a una eficiencia energética mucho menor. En el caso del hidrógeno, sólo alrededor del 30% de la energía eléctrica permanece disponible para mover el vehículo. Los combustibles sintéticos tienen incluso una menor eficiencia con menos del 15% de la energía que finalmente llega a la rueda, lo que conduce a

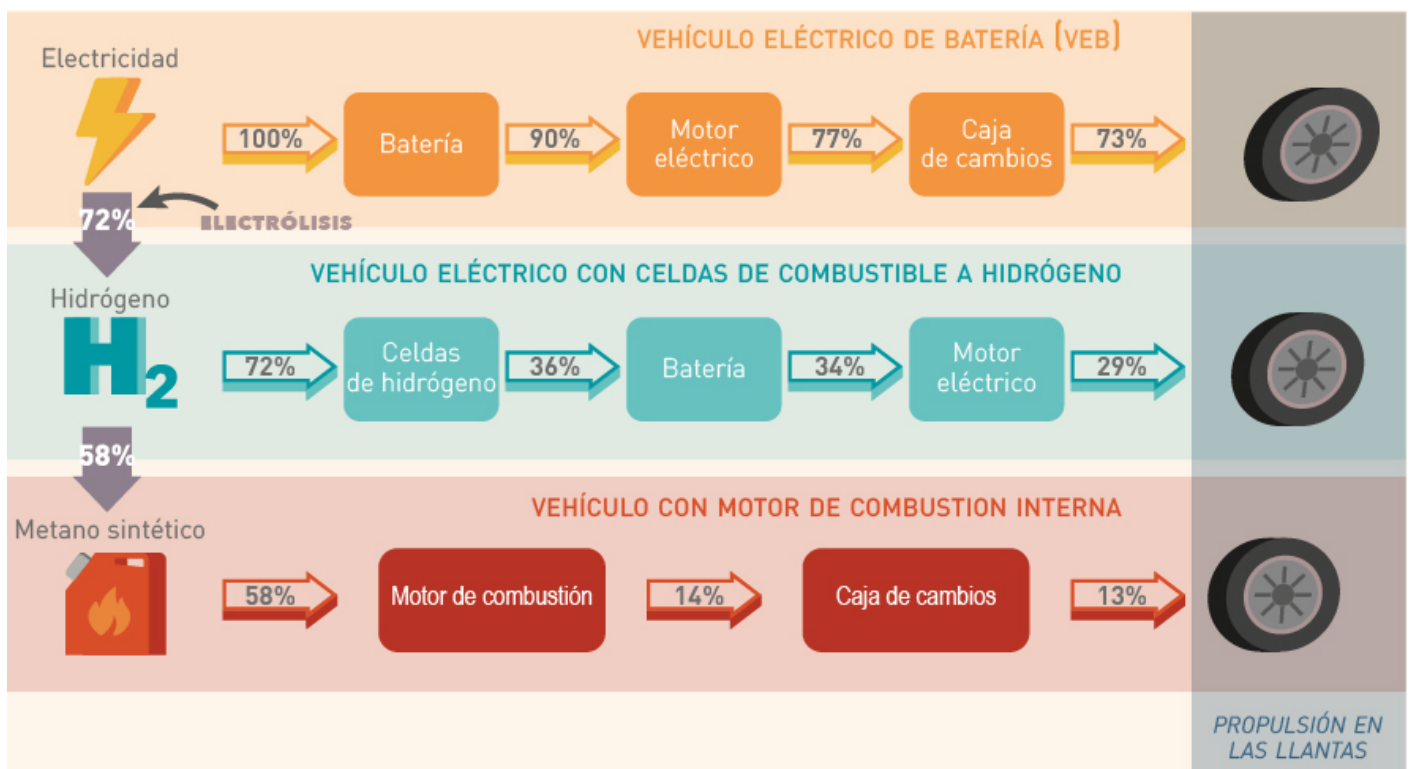
costos de combustible proporcionalmente altos. Por lo tanto, los combustibles sintéticos sólo deben considerarse en los casos en que no se disponga de otra solución. Sin embargo, este no es el caso en el sector de la carretera, donde el vehículo eléctrico y potencialmente las celdas de combustible pueden cubrir todo el mercado de vehículos, por lo que para este estudio no se contemplaron los combustibles sintéticos como medida de mitigación.

Por otro lado, los vehículos híbridos consisten en la combinación de un motor eléctrico y un motor de combustión interna conectados en un mismo eje o separadamente. Las baterías se cargan mediante el motor y la energía generada cuando desacelera mediante los frenos regenerativos. En términos económicos, puede ahorrar aproximadamente 40% en consumo de combustible comparado con un vehículo ligero de combustión interna.

Una ventaja de los vehículos híbridos es la energía generada mediante los frenos, por lo que para los vehículos de carga pesada donde sus trayectos principales son trayectos largos por carretera, su eficiencia disminuye.

De acuerdo con la ICCT, en vehículos de carga los principales ahorros se muestran en las entregas urbanas y/o regionales donde se aprovecha más la tecnología dado su uso y las paradas que tiene durante su recorrido, estimando que, para entregas urbanas, los camiones pueden tener una reducción en combustible de un 17% mientras que los tractocamiones de larga distancia tienen ahorros en su consumo de combustible únicamente del 4% (Delgado et al., 2017).

Figura 34. Eficiencia de tecnologías alternas.



Fuente: Ifeu.

Por lo tanto, las tecnologías alternativas consideradas para este estudio fueron los vehículos eléctricos híbridos (HEV), los vehículos eléctricos con batería (BEV), tanto para vehículos de pasajeros y de carga, y los de celdas de combustible de hidrógeno (FCEV) para camiones pesados y autobuses como alternativa a los vehículos convencionales de motor de combustión interna (MCI).

### **F.2.4. Medidas mejorar a través de la eficiencia energética**

Se refieren a las mejoras técnicas que pueden emplearse para aumentar la eficiencia de los motores y/o sistema del vehículo.

Renovación de la flota de vehículos ligeros particulares

Establecer un ahorro de combustible requerido para toda la flota de vehículos nuevos (km/litro) por cada categoría y así aumentar la proporción de la flota de vehículos con motores de mejor tecnología.

El aumento de las normas de eficiencia del combustible ha afectado a la innovación en los automóviles, en primer lugar, acelerando la adopción de nuevos combustibles, motores y tecnologías de transmisión de trenes, y, en segundo lugar, desplazando el uso de una mayor eficiencia entre el consumo de combustible y el rendimiento.

Actualmente, el país se cuenta con la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, sin embargo, se requiere una actualización periódica de esta NOM para poder establecer estándares de ahorro comparables con los internacionales, reduciendo así el consumo de combustible por vehículo.

#### **PROGRAMA DE CHATARRIZACIÓN Y RENOVACIÓN PARA EL TRANSPORTE DE CARGA**

Se propone retomar el Programa de renovación y chatarrización del transporte federal, con enfoque en el transporte de carga, dado que es la categoría vehicular en circulación más antigua.

En 2015 – 2016 SEMARNAT, con apoyo de NAFIN, impulsaron el Programa de Renovación de Vehículos de carga y de pasaje del Gobierno Federal, el cual tenía como tope anual destruir a 6 mil unidades a través del programa, lo que implicaba ahorros de al menos 800 mil toneladas de CO<sub>2e</sub> y unas 240 toneladas de carbono negro.

Actualmente se cuenta con el Programa de Modernización del Autotransporte de Carga y Pasaje SCT-NAFIN, que tiene por objetivo incentivar e impulsar la renovación del parque vehicular, sustituyendo las unidades obsoletas del autotransporte federal a través de un fondo de garantía administrado por NAFIN con recursos de la SCT, ofreciendo esquemas de financiamiento para la adquisición de una unidad nueva o seminueva (máximo modelos de 8 años de antigüedad) para las micro o pequeñas empresas de transporte con flota de 1 a 30 unidades motrices.

Las Unidades administrativas participantes son la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), específicamente la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y Nacional Financiera (NAFIN).

Adicionalmente, la GIZ con apoyo de Iniciativa Climática de México, desarrollaron un Manual para el diseño de programas de renovación de flotas<sup>7</sup> el cual presenta información y aspectos importantes que se deben tomar en cuenta en el diseño de un esquema de renovación de flota y chatarrización, tal como el que se propone en esta medida.

#### **CURSOS DE CONDUCCIÓN TÉCNICO-ECONÓMICOS**

Estos cursos se centran en aumentar la conciencia vial de los conductores y cómo su estilo de conducción puede afectar la eficiencia y la seguridad del vehículo sin aumentar los tiempos de viaje. Existen varios ejemplos a nivel internacional y nacional que proporcionan información sobre los beneficios de la aplicación de esta medida.

La Unión Internacional de Transporte Carretero (IRU) ofrece un ejemplo de cursos de conducción ecológica ofrecidos a conductores profesionales. De acuerdo con sus estimaciones, esta medida puede incrementar la eficiencia de combustible hasta un 15%.

Para este documento, se estudiaron dos casos específicos, Polonia y Rumanía. En una capacitación que duró entre 14 a 15 meses la reducción media del consumo de combustible en los viajes que se realizaron dentro de la capacitación (donde abarcan todo tipo de circunstancias viales) fue de 12.24% y 9.24%, respectivamente (ITF, 2018).

Estos programas consisten en mostrar como unos cambios simples en las técnicas de conducción pueden producir ahorros de combustible considerables, del 5% o más. Se estima que muchas flotas podrían conseguir una mejora del 10% en ahorro de combustible mediante la capacitación y monitoreo a operadores.

A nivel nacional, el Programa Transporte Limpio de la SCT-SEMARNAT, un programa voluntario desarrollado por ambas Secretarías, busca que el transporte de carga y pasaje que circula por el país sea más eficiente, seguro, competitivo y amigable con el medio ambiente. En este programa se promueve el entrenamiento de operadores en conducción técnica-económica (eco-driving) (Transporte Limpio, 2021). A julio de 2021, existen 587 empresas adheridas al programa, con 76,892 evaluados en el año y un estimado de 2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas en el año 2020 y estima una reducción entre el 10 y 30% de ahorro de combustible (SEMARNAT, 2021).

---

7. El Manual para el Diseño de Programas de Renovación de Flotas se encuentra disponible en: <https://ciudadesytransporte.mx/wp-content/uploads/2021/06/Manual-para-el-disen%CC%83o-de-programas-de-renovacio%CC%81n-de-flotas.pdf>.

La serie de técnicas en la que se capacitan a los operadores pueden ser:

- Utilización del control de crucero.
- Aprovechar la inercia del vehículo.
- Frenar y acelerar gradualmente.
- Cambio progresivo de velocidades (a las RPM más bajas posibles).
- Reducir tiempo de ralentí innecesario.
- Arranque a una velocidad que no requiera usar el acelerador al soltar el embrague.
- Límite de cambios de velocidad innecesarios (Por ejemplo: pasar de 2º a 5º velocidad).
- Manejar con la menor velocidad posible.
- Reducir las pérdidas de energía parasitaria limitando el uso de accesorios.

Este programa se desarrolló siguiendo las experiencias de SmartWay de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), en este programa voluntario de naturaleza público-privada lanzado en 2002, promueve la sustentabilidad en la cadena de suministro al medir, desarrollar estándares y mejorar la eficiencia del transporte de carga (EPA, 2021). Asimismo, el programa Fleet Smart de Canadá derivado de SmartWay, ofrece una serie de capacitaciones SmartDriver. La capacitación en la administración energética de flotillas apoya a los conductores profesionales a mejorar la eficiencia de consumo de combustible de hasta 35%. En esta serie se incluyen cursos enfocados a las flotillas comerciales e institucionales de: Transporte terrestre carretero; para la industria maderera; para compañías de transportes; para autobuses escolares; y para la ciudad (NRCAN, 2021).

Por otra parte, se encuentran los programas de asociaciones privadas. En México, se tiene el Distintivo CANACAR, un programa de la Cámara Nacional del Auto-transporte de Carga (CANACAR) en el que se galardona a empresas con procesos, políticas, programas y acciones que contribuyan a la operación profesional, eficiente y segura (CANACAR, 2021).

De forma similar, la Fundación Carlos Slim con soporte técnico de CONUEE, ofrece el curso Operación de flotas eficientes, a través de la plataforma “Capacítate para el empleo”. En este curso se enseñan temas sobre conducción técnico-económica, y buenas prácticas para conducir, con un enfoque al consumo eficiente de combustible (Fundación Carlos Slim, 2021).

Adicionalmente, hay seis países en América Latina, incluyendo México, que cuentan con prácticas de conducción técnico-económica. Es importante mencionar la

experiencia del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú con el desarrollo de un programa piloto de conducción eficiente. Como parte del Programa Nacional de Capacitación en Conducción Eficiente, en este piloto se realizaron 20 pruebas de rutas reales (10 iniciales y 10 de contraste después de haber recibido la capacitación) y se produjo un Manual de Conducción eficiente para el conductor y para el instructor (MTC, 2019); asimismo, esta medida se ha incluido como parte de sus CND.

Finalmente, se puede hacer mención del Programa Rango Verde en Argentina, desarrollado con la Federación Argentina de Entidades Empresarias del Auto-transporte de Cargas. Así como los programas Fleet Smart y Transporte Limpio, éste se basa en el programa SmartWay de la EPA. Dentro de las acciones que su Programa de Transporte Inteligente Rango Verde utiliza para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero es la Capacitación en conducción racional y defensiva (FADEEAC, 2017), al igual que en Perú, la eco-conducción se ha incluido en sus CND.

### F.3. PRINCIPALES ACTORES DEL TRANSPORTE

El sector transporte de México cuenta con diversos actores que influyen en la política y en el crecimiento del sector; así como instituciones que analizan su comportamiento y desempeño a lo largo de la cadena automotriz.

A nivel federal, la principal institución que rige el sector transporte es la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), antes Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), debido a que es la encargada de la administración, regulación y fomento de las vías y sistemas de comunicación y transporte. Mientras que, en política ambiental, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la responsable de la atribución de las políticas medioambientales del país. Emitiendo Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que ayudan a preservar y regular la calidad del aire mediante las limitaciones de contaminantes.

Para este estudio, se agruparon los actores involucrados por cada medida y los pasos que la conforman, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 7.** Recomendación de actores involucrados en cada medida.

MEDIDA	PROCESO	ACTORES
Adopción parcial de medidas en línea (home-office)	Generar divulgación de los beneficios ambientales de la adaptación de actividades en línea	SEMARNAT, CONUEE, Secretarías de movilidad y/o medio ambiente estatales y municipales



MEDIDA	PROCESO	ACTORES
Optimización de las rutas del transporte público en áreas metropolitanas	Diseño e implementación de estudios requeridos	Secretarías de movilidad y/o medio ambiente estatales y municipales
Mejoras de logística en transporte de carga	Fomentar la coordinación y cooperación entre distintas compañías Identificar las barreras principales por escala de compañía en términos de logística	SICT, CANACAR SICT, empresas transportistas, CANACAR
Incrementar la capacidad de carga de los tractocamiones	Evaluar los factores de carga por compañía mediante sus cartas de porte	SICT, empresas transportistas
Optimización en las entregas de última milla	Desarrollar estudios para identificar las áreas de oportunidad en cada área de estudio	Secretarías de movilidad o medio ambiente estatales o municipales
Carriles de vehículo compartido	Articular la planeación del transporte con la urbana, limitando la expansión territorial mediante los planes municipales de desarrollo urbano.	SEDATU, CONAVI
	Promover los beneficios del compartimento de vehículo	Secretarías de movilidad o medio ambiente estatales o municipales
	Desarrollar estudios piloto en áreas y/o horarios de horas pico en las ciudades	Secretarías de movilidad o medio ambiente estatales o municipales
Transporte de sistema integrado	Elaborar y aplicar una estrategia a más largo plazo para promover el cambio modal urbano; y promover y crear sistemas de transporte integrados.	SEDATU, SICT, BANOBRAS
	Generación de incentivos para implementar sistemas de transporte urbano integral	SCHP, SEMARNAT, Cámara de Diputados
Programa de chatarrización y mejora en la eficiencia energética de los vehículos de motor de combustión interna	Hacer obligatorios los programas de inspección de emisiones y desarrollar programas de desguace de vehículos para eliminar los vehículos más contaminantes e ineficientes.	SEMARNAT, SICT
	Tener buen manejo de los residuos contando con Centros de Destrucción autorizados para cerciorarse de la destrucción de las unidades	Secretarías de movilidad o medio ambiente estatales o municipales
	Actualizar y modernizar las normas reguladoras de emisiones y la eficiencia de los vehículos (nuevos y en carretera) con arreglo a criterios internacionales.	SEMARNAT, SENER, SE, CONAMER, AMIA, ANPACT
Cursos de capacitación técnico-económicos (eco-driving)	Promover los beneficios de ahorros energéticos y económicos de la capacitación	SEMARNAT, SICT, CANACAR, CONUEE
	Generar redes de comunicación entre los que han impartido el curso	SEMARNAT, SICT, CANACAR, CONUEE
Bicicletas cargo	Establecer metas de flotas de bicicletas de carga para las compañías encargadas en la distribución de última milla	SEMARNAT, Secretarías estatales o municipales de movilidad y/o ambientales
Vehículos de tecnologías alternativas	Establecer metas de flota de vehículos de distintas tecnologías (eléctricos, híbridos y de celdas de combustible de hidrógeno)	SICT, SEMARNAT
	Divulgación y promoción de los beneficios económicos y ambientales de las distintas tecnologías	SEMARNAT, empresas fabricantes de vehículos
	Evaluación de las redes de distribución eléctrica para soportar la carga de las electrolinerías.	SENER, CFE
	Adoptar una estrategia para eliminar gradualmente los MCI y los vehículos ligeros de combustibles fósiles.	SICT, SEMARNAT, SENER, SE, CONAMER
	Expansión de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos en lugares estratégicos como carreteras, ciudades (edificios, supermercados), espacios públicos.	SEDATU, SENER, BANOBRAS, CFE, CONAMER
	Establecer que los códigos de construcción de nuevas edificaciones incorporen estaciones de carga de vehículos eléctricos.	SENER, CONAVI, SEDATU, BANOBRAS
	Crear el marco normativo y de políticas para reciclar, reutilizar y eliminar adecuadamente las baterías	SEMARNAT, SENER, SE
	Desarrollar el marco reglamentario para establecer tarifas preferenciales en las estaciones de carga de vehículos eléctricos.	SENER, CFE, SICT, SEMARNAT, SEDATU, SE

MEDIDA	PROCESO	ACTORES
Adicionales	Mejorar la elaboración de programas locales para mejorar la calidad del aire y proporcionar información actualizada sobre la calidad del aire y las medidas preventivas que pueden adoptar los ciudadanos.	SEMARNAT, SHCP, COFEPRIS, CONAMER, Secretaría de Salud, Secretarías estatales o municipales de movilidad y/o ambientales
	Evitar la construcción de infraestructura intensiva en fósiles que perpetúe el bloqueo de carbono y despliegue de energías renovables.	SENER, PEMEX, BANOBRAS, CRE, CFE
	Modernizar y reforzar los sistemas de vigilancia de la calidad del aire y los programas locales, así como las normas reguladoras de los criterios contaminantes.	SEMARNAT, Secretaría de Salud, Secretarías estatales o municipales de movilidad y/o ambientales

Fuente: Propia con datos de Gutiérrez Grados et al., 2020.

# G. Escenario bajo en emisiones

## PUNTOS CLAVE

- Con el paquete de medidas seleccionadas se podría llegar a reducir para el 2050 hasta un 75% de las emisiones GEI del sector transporte comparado con el escenario tendencial. Respecto a contaminantes criterio, estas estrategias ayudan a mitigar en 2050 el 46% de las PM 2.5 y 65% de los NOx estimados en el escenario tendencial.
- Cabe destacar que la estimación de la reducción de emisiones, tanto de GEI como de contaminantes criterio, tiene la condicionante del tiempo. Es decir, entre más pronto se instrumenten las medidas, se estaría garantizando su efecto. De prolongar la entrada de las mismas, el impacto en reducción de emisiones se vería disminuido.
- Por paquete de medidas, las medidas clasificadas en las categorías de Evitar y Cambiar contribuyeron al 33% de la reducción de emisiones GEI. En cuanto a las medidas de Mejorar, aquellas relativas a la eficiencia energética (Renovación de la flota de vehículos ligeros particulares y Cursos de conducción técnico-económicos) de los motores de combustión interna podrían llegar a reducir 16% de las emisiones GEI en 2050 y aquellas referentes a tecnologías alternas hasta un 26%.
- Evaluando la contribución por medida en la categoría Evitar, se encontró que tanto la medida de los carriles especiales de vehículo compartido como la de los sistemas de coordinación para el transporte de carga fueron responsables del 48% de la mitigación total, las cuatro medidas restantes complementan el otro 52%.
- Para la categoría Cambiar, la evaluación por medida arroja que el reparto modal del transporte de carga carretero a ferroviario fue responsable del 60% de esta reducción, las tres medidas restantes complementan el otro 40%.
- Para la categoría de Mejorar, las medidas referentes a las tecnologías alternas de vehículo, como vehículos eléctricos de baterías, bicicletas cargo y de celdas de combustibles fueron responsables del 61% de esta reducción (112 MtCO<sub>2e</sub>), los 73 MtCO<sub>2e</sub> restantes fue complementado con las medidas de eficiencia energética.
- En 2050, el 73 % de los automóviles particulares son VEB, pero solo el 7 % de los camiones combinados de larga distancia son de tecnologías alternativas.
- La instrumentación de todas las medidas aquí planteadas podría equivaler a que el transporte de carga pesada reduciría 50% de sus emisiones en 2050 mientras que el de pasajeros ligero sería un 86%.
- Los efectos de las medidas del transporte de carga serían significativos. Si se aplican todas las medidas mencionadas para esta categoría de vehículos a partir de esta década, las emisiones de partículas podrían disminuir un 50% para 2050, mientras que el consumo de energía podría disminuir alrededor de 1000 PJ al 2050.
- De las 17 medidas evaluadas, con base en la literatura, se preveé que casi todas tengan una dificultad de implementación entre baja y media. Las excepciones son para las medidas de mejorar con los vehículos eléctricos, y medidas de Evitar y Cambiar relacionadas con los sistemas de coordinación y reparto modal. Esta situación también aplica a los costos de implementación de las medidas.

## G.1. INTRODUCCIÓN

El escenario bajo en emisiones del sector transporte carretero desarrollado en este estudio para México hasta 2050 divide, al igual que el escenario tendencial, las contribuciones por cada tipo de vehículo. Esto es importante ya que la penetración de ciertas medidas influye dependiendo la situación de cada región, política, jurisdicción o peso del vehículo.

Para este escenario se plantea incorporar 17 medidas que ayudarán al auto-transporte a encaminar sus emisiones GEI hacia el camino del escenario 1.5°C en 2050. Estas medidas fueron seleccionadas con base en una revisión literaria de estudios anteriormente realizados para México, así como aquellas propuestas en instituciones federales como INECC, SEMARNAT y CONUEE.

Por otro lado, algunas medidas donde aún no se cuentan con casos de estudio mexicanos, se realizaron supuestos con información obtenida a nivel internacional, tal es el caso de las medidas enfocadas a los vehículos de última milla (vehículos comerciales ligeros).

Este escenario se desarrolló con la herramienta MYC para los contaminantes GEI y posteriormente se utilizó la herramienta para validación del modelo, así como para incluir valores adicionales a cada medida, como los contaminantes criterio. Asimismo, con MYC se obtuvo las emisiones GEI de los dos procesos TTW y WTW contabilizando los ahorros de emisiones de distintas formas. Por otro lado, MYC brinda los resultados para todo el periodo de análisis, mientras que en MOVES se modelaron las medidas para años claves.

En el siguiente apartado se dividen las medidas seleccionadas por paquete de involucramiento determinado en la metodología ASI. Cabe mencionar que la mayoría de las medidas comienzan su implementación en 2025 y terminan de obtener su máximo potencial en 2050. Esto se propuso debido a que mientras más pronto sea la implementación de cada una, los ahorros a corto plazo serán mayores y se podría alcanzar los compromisos de México en el 2030.

## **G.2. EVITAR**

### **G.2.1. Adopción parcial de actividades en línea**

Esta medida se considera adaptar lo más pronto posible, ya que por la pandemia se consideró como una solución para disminuir la propagación del virus en las áreas de trabajo. Se propone que únicamente cierto tipo de trabajos que se ejecuten en oficinas sean aquellos que puedan optar por esta medida, los cuales corresponden a 20% de la población actual.

Se estima que para 2030, esta medida influirá en 1.4% de la población y para 2050 este porcentaje incrementará a 7%, si se continuara con el crecimiento de población y la distribución de los empleos actuales. En términos de consumo de energía, esta medida ayudará a mitigar el 11% del combustible para los vehículos particulares ligeros para 2050.

### **G.2.2. Optimización de las rutas de transporte público en zonas metropolitanas**

Esta medida aplica únicamente a las zonas metropolitanas, las cuales son las responsables del 71% de la flota total. Se asume que la optimización de las rutas del transporte público se aplicará a partir de 2025 y que influirá en el 2.8% de los autobuses urbanos en 2030 y 14% en 2050, lo que influirá en una reducción del 19% del consumo de energía.

### **G.2.3. Sistemas de coordinación para el transporte de carga**

Si la mejora en la coordinación entre las diferentes empresas que conforman el transporte de carga iniciara en 2025, se tendría que para 2030 2% de la flota ya se vería influenciada por las ventajas de dicha medida y para 2050 se estimaría que el 100% de la flota ya se encuentre dentro de este esquema de coordinación, lo cual tendría un ahorro aproximado de 9% en consumo de energía.

### **G.2.4. Incremento de la capacidad de carga de los tractocamiones y camiones de carga**

En esta acción se evaluó el factor de carga documentado de los tractocamiones en el país. De acuerdo con el (IMT, 2011), el tractocamión T3-S2 tenía un factor de carga promedio de 37% es decir no se utilizaba ni la mitad de su capacidad de carga. El promedio de factor de carga promedio de las muestras de todos los tipos de vehículos de carga pesados fue de 60%.

En Alemania se evaluó que en un periodo de 15 años el aumento del factor de carga de un tractocamión de 40 toneladas Euro V que pasó de 50% al 67% condujo a un aumento del consumo de combustible por vehículo-km en un 8%. Sin embargo, por tonelada transportada-km, el consumo de combustible y las emisiones de GEI disminuyeron un 20% (IFEU, 2012). Lo que significa que se reduciría el número de vehículos y KRV para transportar la misma cantidad de mercancía.

Para esta medida se propone que se aumente durante un periodo de 15 años el factor de carga aumente un 5% en los tractocamiones, lo que se traduciría de manera general que el factor de carga sea de 65% con este cambio, lo que tendría una reducción de 5.5% del consumo de combustible y emisiones GEI totales.

### **G.2.5. Optimización en las entregas de última milla**

Se plantea un ahorro máximo de 5% en combustible para esta medida como se estima en el documento de la (IEA, 2017). Este ahorro se aplicará únicamente a los vehículos de carga ligera comercial, es decir aquellas camionetas pickups, van y camiones menores a 3.8 toneladas que son utilizados para el traslado urbano de mercancías.

Dado que aún no se cuentan con casos de estudio en México en este ámbito y su crecimiento en los últimos años ha sido exponencial, se estima que su ahorro máximo se daría y aplicaría a toda la flota en circulación hasta 2050.

### **G.2.6. Carriles especiales de vehículo compartido**

De acuerdo con la última encuesta Origen-Destino de la Zona Metropolitana del Valle de México de 2017, el promedio de ocupantes por vehículo particular es de 1.5. Por su parte, la Conuee en su escenario de eficiencia energética estiman que con incentivos para el uso compartido de vehículos se puede dar lugar a un aumento de la ocupación media de vehículos de 1.65 personas por vehículo a 2.2 en 2030 y 2.5 en 2050).

En este escenario se propone que para el 2050 el promedio sea de 1.65 ocupantes por vehículo (1.53 en 2030), creciendo únicamente 10% comparado con el valor promedio de la EOD 2017. Esta medida haría que la distribución de los pasajeros por vehículo cambie para ese año. Actualmente 68% de los viajes se realizan con un pasajero, sin embargo, si se quisiera llegar a la meta, ese porcentaje tendría que ser 26%, es decir que 42% de los viajes que actualmente se realizan con un pasajero tendrían que compartir el vehículo con una persona más. Si se aplicara esta medida con los valores propuestos, se tendría un ahorro de energía del 13% para el 2050 en los vehículos particulares.

### **G.2.7. Impactos y evaluación de las medidas evitar y reducir en el escenario bajo en emisiones**

Este paquete de medidas presenta una reducción del 19% de las emisiones GEI para el 2050, equivalente a 81.5 MtCO<sub>2e</sub>.

Evaluando la contribución por medida, se encontró que tanto la medida de los carriles especiales de vehículo compartido como la de los sistemas de coordinación para el transporte de carga fueron responsables del 48% de la mitigación total, las cuatro medidas restantes complementan el otro 52%.

Por tipo de vehículo, los vehículos ligeros particulares redujeron 23% de sus emisiones (45 MtCO<sub>2e</sub>), seguido por los autobuses de pasajeros con 21%, aunque solo corresponde a 4.8 MtCO<sub>2e</sub>, y finalmente el transporte de carga mitigó 16% de sus emisiones GEI (31.7 MtCO<sub>2e</sub>).

## **G.3. CAMBIAR**

### **G.3.1. Programa de planeación urbana y sistemas de transporte integrados**

El propósito de esta medida es reducir los viajes de vehículos particulares de dos y cuatro ruedas; para ello esta acción se compone de dos estrategias principales, la primera sería el desarrollo y ejecución de programas de desarrollo urbano y densificación, con el objetivo de reducir la mancha de asentamientos urbanos. Por otro lado, sería mejorar el transporte público desarrollando sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT, por sus siglas en inglés) y mejorar el entorno urbano desarrollando infraestructura caminable para el peatón e incrementar la infraestructura de ciclovías.

En la Ciudad de México, se ha evaluado que el BRT del Metrobús emite 12.3 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido por pasajero, mientras que los microbuses 28.2 gCO<sub>2</sub>/km/pasajero, es decir más del doble (Alvarado & Macías, 2018).

Dada la falta de proyectos piloto nacionales para esta medida en conjunto, se propuso la meta considerada en las CND de transporte por parte del INECC (INECC, 2018) por lo que se considera un incremento en la densificación urbana del 10%, así como el establecimiento de sistemas de transporte integrado, lo que reduce la distancia recorrida por vehículo progresivamente, desde 2025, hasta alcanzar un 11% en 2050 a nivel nacional.

### **G.3.2. Reparto modal del transporte de carga carretero a ferrocarril**

Esta medida plantea el cambio modal progresivo hasta lograr que en 2050 15% de las toneladas que originalmente se moverían en carretero se pasen a ferrocarril. Esto implica que para 2030, 3% de las toneladas transportadas en camión ya hayan tenido cambio modal hacia ferrocarril.

Este cambio modal, es un paso positivo, esto, sin contemplar que también puede haber oportunidades para mejorar la eficiencia del ferrocarril, como se ha reflejado en la última década (ARTF, 2021). El análisis de este estudio destaca que se podría ahorrar 287 PJ anualmente si se reduce en un 15% los kilómetros recorridos en carretera al transferir carga al ferrocarril.

Para alcanzar un cambio modal sustancial del autotransporte carretero hacia el transporte ferroviario resulta necesario un estudio de optimización de cadenas logísticas y del tipo de carga que pueda ser transferido del transporte carretero al ferroviario (IMT, 2012).

Así como aplicar medidas que desincentivan el uso del autotransporte para el flujo de carga de largo itinerario, en aquellos corredores en que se puede usar el ferrocarril para la mayor parte del trayecto, tales como la internalización del costo de las externalidades negativas (costo por emisiones de carbono, costos por congestión vial, accidentes viales, etc.).

### **G.3.3. Cambio de camiones unitarios por tractocamiones**

Se propone que camiones unitarios de distancias largas sean reemplazados por tractocamiones de mayor capacidad de carga y que por ende también hayan implementado sus medidas de incremento en el factor de carga.

### **G.3.4. Sistema de bicicletas públicas**

Estos sistemas de bicicleta pública se proponen para las zonas metropolitanas. Actualmente 11 ciudades mexicanas cuentan con sistemas de bicicletas compartidas (ver anexo para más información); sin embargo, hay 31 ciudades metropolitanas que ya cuentan con ciclovías, por lo que se podría aprovechar esta infraestructura.

El reparto modal evaluado para México es en promedio de 3% de los viajes totales se realizan en bicicleta, de ese porcentaje 11% se realizan en bicicleta pública y de esos viajes únicamente el 22% comunicó que antes utilizaba un transporte motorizado privado. Se estima que, si para 2050 el reparto modal de bicicletas ascendiera a 28%, como actualmente se cuenta en algunas ciudades de Holanda, la contribución de viajes evitados en vehículos privados sería de 1% a nivel nacional.



### **G.3.5. Impactos y evaluación de las medidas cambiar y mantener en el escenario bajo en emisiones**

Este paquete de medidas presenta una reducción del 12% de las emisiones GEI para el 2050, equivalente a 49 MtCO<sub>2e</sub>. Evaluando la contribución por medida, podemos observar que la medida del reparto modal del transporte de carga carretero a ferroviario fue responsable del 60% de esta reducción, las tres medidas restantes complementan el otro 40%.

En las reducciones por tipo de vehículo se identificó que el mayor ahorro se presenta en el transporte de carga, seguido por los vehículos particulares; sin embargo, el transporte de pasajeros pesados tiene un aumento en emisiones, esto es debido a que la medida referente al Programa de planeación y sistemas de transporte integrado (STI), realiza un cambio modal de vehículos particulares a transporte público, lo que influyó en que el número de pasajeros y de flota aumentara.

Sin embargo, es importante recordar que para un pasajero es 6 veces más eficiente viajar en transporte público que en carro particular, por lo que ese aumento del 15% es igual a la emisión de 3.4 millones de toneladas de CO<sub>2e</sub>, mientras que los vehículos ligeros mitigaron 19.2 millones de toneladas.

## **G.4. MEJORAR**

### **G.4.1. Programa de chatarrización para el transporte de carga**

La medida plantea la reanudación del Programa de modernización y renovación del autotransporte de carga, donde se propone que el programa de prioridad a los pequeños transportistas, así como a la flota más antigua, ya que aún hay tractocamiones con edades de 30 a 60 años y que se tenga como meta anual la sustitución de 6 mil unidades.

Si este programa se inicia en 2024 y sustituye anualmente 6 mil unidades, para 2050 tendríamos 156 mil tractocamiones beneficiados con este programa, lo que representaría el 13% de la flota en circulación de ese año y el 19% de los vehículos mayores a 10 años (si se continúa con la edad promedio de la flota de 19.75 años).

### **G.4.2. Cursos técnicos-económicos (eco-driving)**

Se propone que se continúe y fortalezcan programas como el Programa de Transporte Limpio de SEMARNAT donde se cuenta con entrenamiento para los conductores realizando programas de capacitación periódicos.

Para ello, se propone que, si en promedio se cuentan con ahorros de aproximadamente 15% de ahorro de combustible después de su ejecución, se estima que, si en 2050 el 60% de la flota en circulación de vehículos de carga pesado cuenta con estos cursos técnicos-económicos, se tendría un ahorro nacional del 9% en energía, lo que se traduciría a que se entrenen alrededor de 29,500 vehículos anualmente.

### **G.4.3. Bicicletas de carga (cargo-bikes)**

Se plantea que se sustituirán camionetas utilizadas para el transporte de mercancías urbanas por medio de bicicletas que cuentan con compartimentos para transportar carga ligera.

Actualmente se han identificado 31 ciudades urbanas que cuentan con infraestructura ciclista, la cual es un factor importante para la efectividad de la medida. Para esta medida se estima que, si para estas 31 ciudades se incorporara bicicletas cargo en su transporte ligero de mercancías y movilizarán el 50% de la carga de última milla con esta tecnología para el 2050, a nivel nacional esta medida sustituiría el 15% de los vehículos de carga ligera urbana.

El crecimiento de esta medida es progresivo durante 2025 - 2050, por lo que para corto plazo (2030) 3% de la flota de vehículos ligeros para entrega de mercancías urbanas podría realizarse en bicicletas, esto considerando que los gobiernos locales promuevan su inclusión y se cuente con la tecnología disponible en el país.

### **G.4.4. Automóviles y camiones híbridos**

Esta medida se propone como una acción de transición entre la eliminación de los motores de combustión interna y la introducción exponencial de los vehículos eléctricos de baterías, por lo que su punto de mayor penetración ocurre en 2035, estimando que para ese año la maduración de los VEB sea mayor.

Esta misma trayectoria de penetración está alineada a lo considerado por la Agencia Internacional de Energía. De manera tendencial, se estima que para 2035 el 7% de la flota total será de vehículos híbridos, disminuyendo su penetración en 2050.

### G.4.5. Renovación de la flota de vehículos ligeros particulares

La medida plantea la renovación de la flota mediante la actualización de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, para ello se propone que para 2050 el rendimiento de combustible promedio de la flota en circulación será igual a el consumo del vehículo más eficiente actualmente en el mercado nacional, el cual tiene un rendimiento de 26.2 km/litro.

### G.4.6. Vehículos eléctricos de baterías

La Tabla 9 muestra los años estimados de plena penetración para cada clase de vehículo, que fueron definidos por ICM & ifeu. En estos años, el 100 % de los nuevos registros se consideran tecnologías alternativas. La rampa del modelo se basa en una vía hacia la neutralidad climática en 2050 a partir de (Prognos et al. 2020), donde, tras un comienzo lento, se logra la plena penetración de tecnologías alternativas después de 20 años con un 30 % después de 10 años.

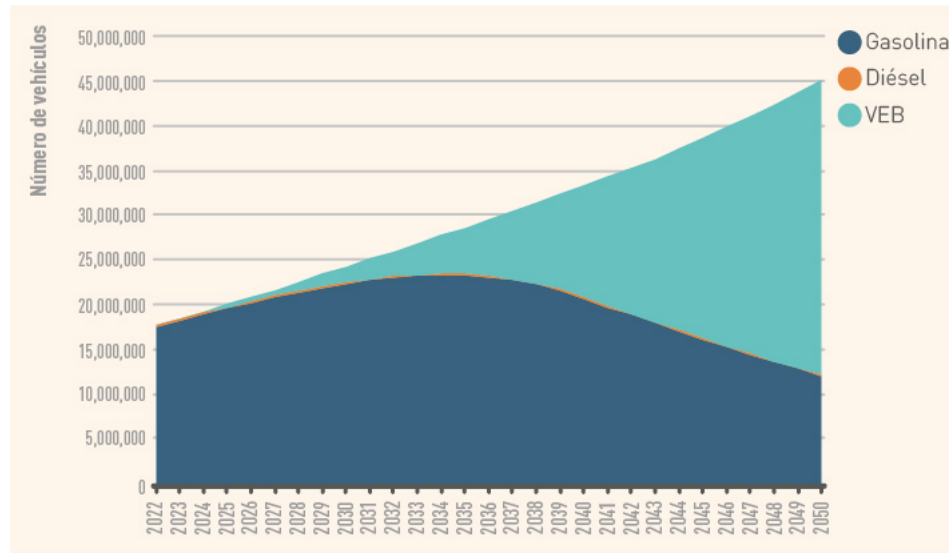
**Tabla 8.** Año propuesto de ventas totales de vehículos eléctricos de baterías por categoría de vehículo.

TIPO DE VEHÍCULO	AÑO DE PENETRACIÓN TOTAL
Motocicleta	2040
Automóviles	2040
Camionetas	2040
Autobuses	2045
Camionetas comerciales	2050
Camiones unitarios de carga	2050
Tractocamiones	2050

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 35 y la Figura 36 muestran la penetración de vehículos resultantes para pasajeros y tractocamiones combinados de larga distancia como ejemplos. En 2050, el 73 % de los automóviles particulares son BEV, pero solo el 7 % de los camiones combinados de larga distancia son de tecnologías alternativas. La diferencia se debe a que la fecha de penetración de ventas totales es posterior en los vehículos de carga y también de que la flota del transporte de carga y su edad promedio es bastante antigua y permanecen más tiempo en circulación.

Figura 35. Proyección de flota para automóviles de pasajeros.

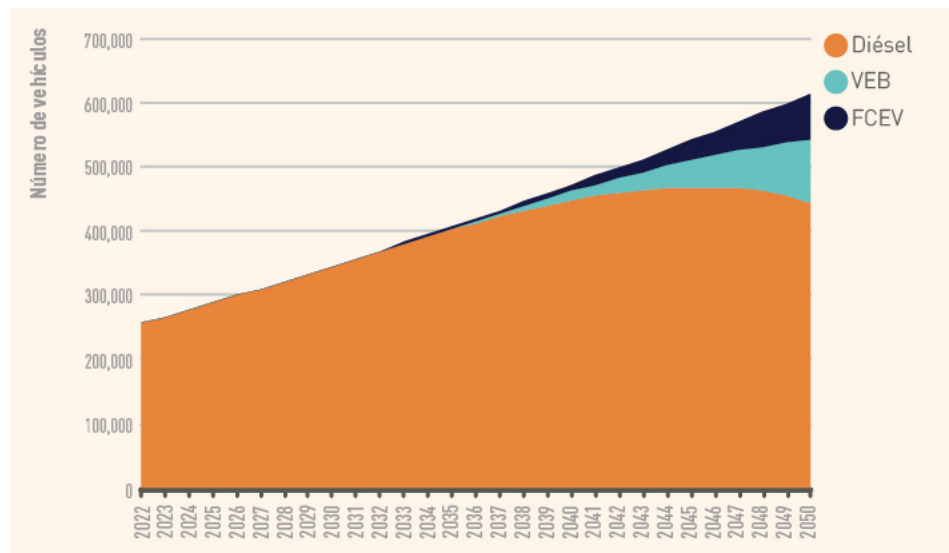


Fuente: Elaboración propia.

Para incentivar la producción y adaptación de los vehículos eléctricos se requiere a la par enfocarse en el diseño de políticas que incluyan incentivos fiscales, mejorar la infraestructura de carga, divulgación de información y hacer más estrictas las normas y estándares de los vehículos con motor de combustión interna.

Para los vehículos de carga eléctricos, se recomienda desarrollar una estrategia de carga, en la cual es importante que se analice y evalúe el perfil de uso, es decir, las horas de uso y rutas, el tipo de vehículo, el tamaño del paquete de baterías y la infraestructura de carga (incluyendo su ubicación)(Kin et al., 2021).

Figura 36. Proyección de flota para tractocamiones combinados de largo recorrido.



Fuente: Elaboración propia.

### **G.4.7. Camiones de celdas de combustible de hidrógeno**

Como se puede observar en la figura anterior, la flota de los tractocamiones de larga distancia se divide en tres tipos de tecnologías, esto es debido a la distancia recorrida por los tractocamiones durante un día, de los cuales cierta flota de vehículos eléctricos de baterías no puede alcanzar la autonomía, por lo que los vehículos FCEV son una gran opción.

En este país, se ha reportado que los nuevos diseños de autobuses han alcanzado una economía de 14.4 km/kg, resultando en un rango máximo de 560 km sin recargar combustible (NREL, 2021).

Hasta la fecha de elaboración de este documento no se encontró regulación aplicable a nivel federal para el uso de hidrógeno en autobuses de pasajeros. Por lo que es necesario proponer su inclusión en la normativa actual (SCJN, 2021). A nivel estatal, en el estado de Tamaulipas en el artículo 28 de la recientemente publicada Ley para el Fomento y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía en el estado de Tamaulipas, menciona el fomento a la creación de movilidad basada en el hidrógeno verde. Además, la Ley para la acción ante el cambio climático del estado de Jalisco y la Ley estatal de cambio climático de Sinaloa mencionan el establecimiento de programas para el uso de combustibles alternativos (hidrógeno) y el desarrollo de sus cadenas productivas.

### **G.4.8. Impactos y evaluación de las medidas mejorar en el escenario bajo en emisiones**

Este paquete de medidas presenta una reducción del 44% de las emisiones GEI para el 2050, equivalente a 184 MtCO<sub>2e</sub>. Evaluando la contribución por tipo de medida, podemos observar que las medidas referentes a las tecnologías alternas de vehículo, como vehículos eléctricos de baterías, bicicletas cargo y de celdas de combustibles fueron responsables del 61% de esta reducción (112 MtCO<sub>2e</sub>), los 73 MtCO<sub>2e</sub> restantes fue complementado con las medidas de eficiencia energética.

En las reducciones por categoría vehicular, se identificó que los vehículos ligeros particulares podrían llegar a reducir 56% de sus emisiones GEI, esto es dado que la penetración de tecnologías más eficientes será más amplia comparado con las otras categorías de vehículos; mientras que los autobuses de pasajeros mitigarían 41% y el transporte de carga 32%.

## G.5. DIFICULTAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS

Finalmente, con datos de (Replogle et al., 2013) se presenta de manera general la probable dificultad y el costo de implementación de cada medida evaluada para países de América Latina y el Caribe.

**Tabla 9.** Niveles de dificultad y costos de implementación por estrategia de mitigación.

ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE GEI EN EL TRANSPORTE	DIFICULTAD DE IMPLEMENTACIÓN	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN
Mejoras operativas en el transporte público	Media	Bajo
Programas de regulación de la vida útil de los autobuses y de eliminación gradual y chatarrización de vehículos	Bajo-Media	Bajo-Media
Infraestructura mejorada para bicicletas, redes y programas de apoyo	Bajo	Bajo-Media
Códigos y prácticas de planificación urbana	Media	Bajo
Semanas de trabajo comprimidas y tele-empleo	Baja-Media	Baja-Media
Sistemas inteligentes de transporte	Media-alta	Media-alta
Autos y motocicletas eficientes	Media	Baja-Media
Camiones eficientes	Media	Baja-Media
Vehículos eléctricos	Media-alta	Alta
Mejora de la Infraestructura intermodal de cargas	Media-alta	Alta
Programa de vehículo compartido	Baja	Baja-Media
Mantenimiento de vehículos y manejo ecológico	Baja	Baja
Centros regionales de distribución de cargas, puertos secos y parques de logística	Alta	Media

La dificultad de implementación:

**Baja:** pocas barreras políticas e institucionales, relativamente fáciles de superar.  
**Media:** algunas barreras políticas e institucionales, pero que han sido superadas.  
**Alta:** fuerte oposición política, falta generalizada de aceptación pública, y/o se requiere mucha coordinación institucional. Muy pocos ejemplos de implementación con éxito.

El costo de implementación se califica de la siguiente manera:

**Bajo:** implica solamente una construcción modesta. Por lo general, requiere inversiones del orden de menos de US\$1 millón por km o por ubicación cubierta.  
**Medio:** implica mejoras moderadas de infraestructura. Las inversiones se ubican en el rango de US\$1 a US\$10 millones por km.  
**Alto:** requiere grandes proyectos de construcción. Las inversiones se ubican en el rango de las decenas de millones de dólares por km.

Fuente: Replogle et al., 2013.

## G.6. RESULTADOS GENERALES DEL ESCENARIO BAJO EN EMISIONES

Esta sección se divide en dos segmentos, el primero muestra los resultados agrupados de las medidas y su reducción tanto en emisiones GEI como en contaminantes criterio. Se identifican los resultados por paquete de medida, es decir, los resultados para las medidas en evitar-cambiar-mejorar; la segunda sección presenta los ahorros por consumo de energía y la interacción de las medidas para obtener un mayor beneficio energético para cada tipo de vehículo y propósito de uso.

Los resultados del modelo bajo en carbono mostraron que, con el paquete de medidas seleccionadas y la penetración mencionada anteriormente, se podría llegar a reducir para el 2050 hasta un 75% de las emisiones GEI del sector transporte comparado con el escenario tendencial.

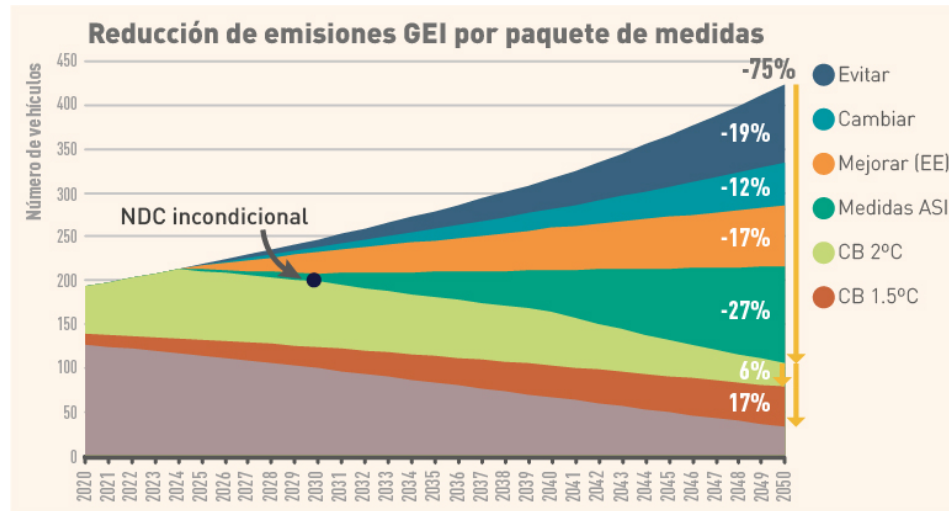
Como se mencionó anteriormente, las medidas de Evitar-Cambiar contribuyeron al 31% de la reducción de emisiones GEI, de estas dos categorías las siete medidas incluidas en Evitar tuvieron ahorro de un 19% mientras que las cuatro medidas dentro de cambiar un 12%.

En cuanto a las medidas de Mejora, aquellas relativas a la eficiencia energética de los motores de combustión interna podrían llegar a reducir 17% de las emisiones GEI en 2050 y aquellas referentes a tecnologías alternas un 27%, su potencial de mitigación mayor se presenta en la última década del análisis esto es debido a que su penetración y mayores ventas se presentan durante la última década, estimando que la paridad de precio se haya alcanzado entre los vehículos de motor de combustión interna y los vehículos eléctricos.

Este resultado se logró debido a que las medidas incorporadas cubren los aspectos importantes del sector transporte desde la logística y optimización del sistema hasta la parte tecnológica, la cual en términos económicos tiene un costo elevado.

Como se puede observar en la figura 20, estas medidas están alineadas para alcanzar el límite de emisiones de 1.5°C y 2°C de la trayectoria estimada para el sector transporte.

**Figura 37.** Proyección hasta 2050 del escenario tendencial y el bajo en carbono por grupo de medida.

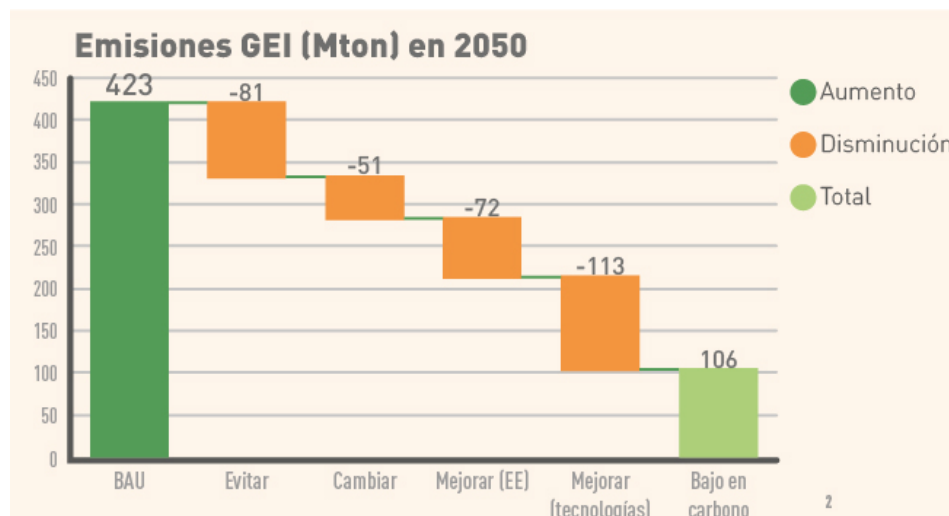


Fuente: Elaboración propia.

La mitigación de las emisiones en este escenario agrupadas por uso de vehículo (pasajeros y carga ligero y pesado) podemos identificar que la reducción no es homogénea entre cada uso, debido a que la penetración de cada medida difiere por tipo de vehículo.

Por consiguiente, mientras que en el escenario tendencial el transporte de pasajeros ligero era el de mayor contribución, en el escenario bajo en emisiones sería la carga pesada ya que solo reduciría 50% de sus emisiones en 2050 mientras que el de pasajeros ligero un 86%.

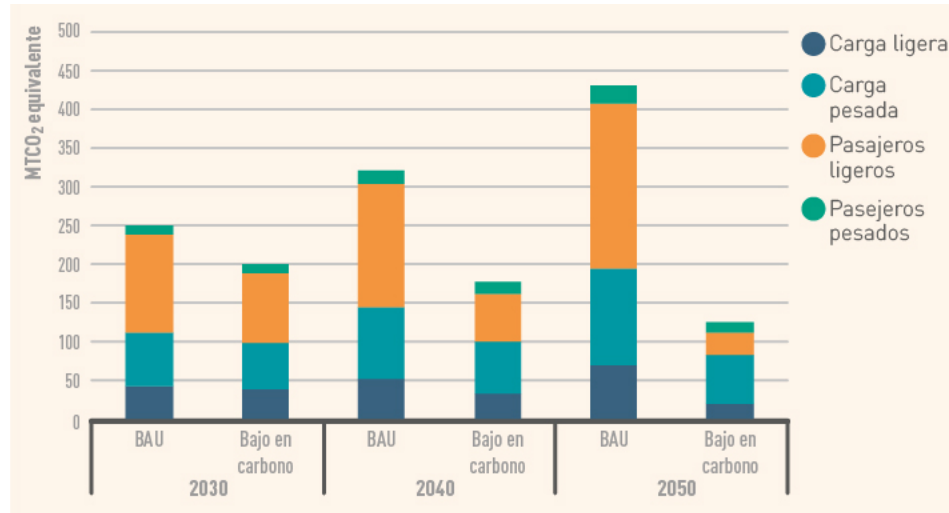
**Figura 38.** Emisiones GEI del escenario tendencial y las contribuciones de reducción por cada paquete de medidas para 2050.



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 39.** Emisiones de GEI por categoría de vehículo y escenario para el 2030 – 2040 y 2050.



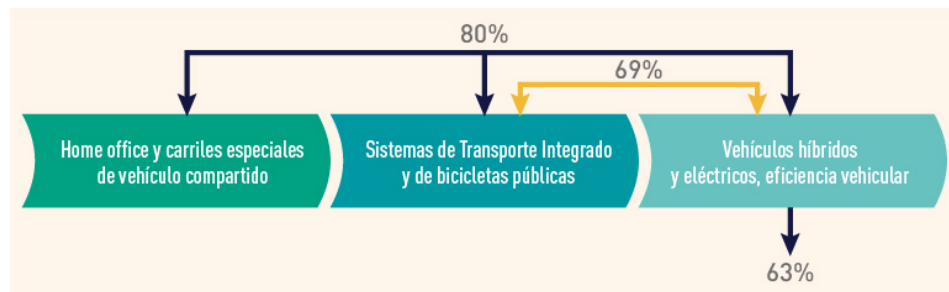
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se encontró que la interacción entre las medidas es fundamental para obtener mayor mitigación de consumo de energía, en los gráficos siguientes se muestran dos ejemplos de dos tipos de vehículos analizados.

En la categoría de automóviles particulares para 2050 se estimó que el consumo de energía de los vehículos sería en el escenario base de 1,820 PJ, sin embargo, si sólo se hubieran propuesto medidas de mejora tecnológica y eficiencia en los motores de combustión interna (cuadro verde) el consumo de energía hubiera sido de 679 PJ, es decir se ahorraría 63% del consumo de la línea base.

Adicionalmente, si también se incluyeran las medidas de cambiar a modos más sustentable, ese ahorro de energía ahora sería de 69% (flecha verde); finalmente, si se incluyen todas las medidas contempladas para esta categoría de vehículo, es decir las de evitar-cambiar-mejorar, el potencial de ahorro energético es de 80% pues se consumiría 364 PJ en lugar de 1,820 PJ como lo establecía el escenario tendencial.

**Figura 40.** Interacción entre paquetes de medidas para los vehículos particulares y su potencial de reducción en consumo de energía para 2050.



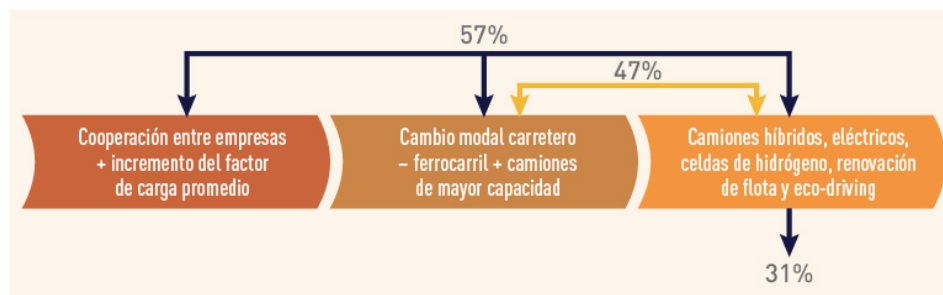
Fuente: Elaboración propia.

Este resultado es importante mencionar dado que como se observa no se debe enfocar en una sola medida sino en evaluar de una manera integral para poder obtener el mayor ahorro posible.

Otro ejemplo sería el de los vehículos pesados de carga donde se estimó que su consumo de energía en el escenario base en 2050 es de 1,705 PJ, si solo se incluyeran las medidas de mejorar su reducción en energía sería de 31%. A comparación de la categoría de vehículo particulares la contribución de estas medidas es menor puesto que la penetración de vehículos eléctricos y de hidrógeno tiene un retraso dada la maduración de la tecnología.

Adicionalmente, si también se incluyeran las medidas de cambiar a modos más sustentable, el consumo de energía sería de 900 PJ (47%); finalmente, si se incluyen todas las medidas contempladas para el transporte de carga pesado, el potencial de ahorro energético es de 57% consumiéndose 725 PJ.

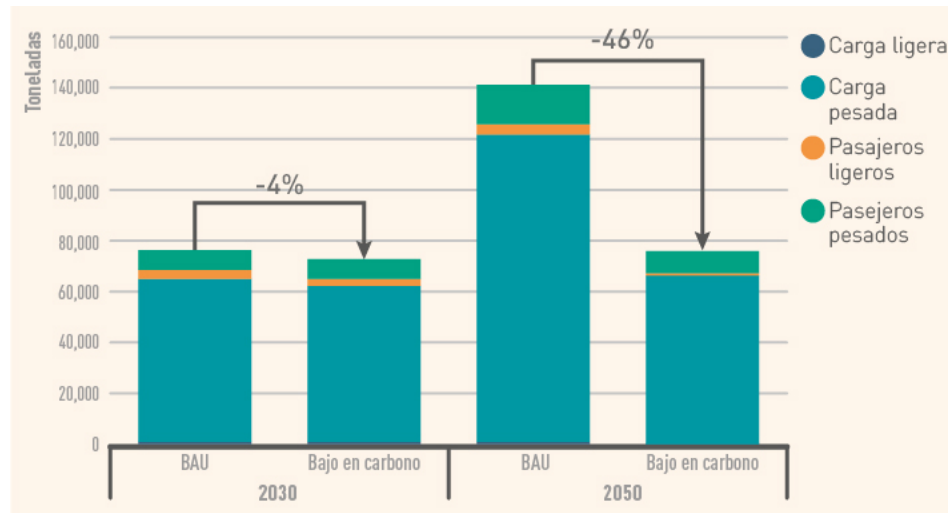
**Figura 41.** Interacción entre paquetes de medidas para los vehículos pesados de carga y su potencial de reducción en consumo de energía para 2050.



Fuente: Elaboración propia.

Si bien, el enfoque principal del estudio son las emisiones de efecto invernadero, se evaluó además su influencia en la calidad del aire y como los contaminantes criterios como los Óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas suspendidas (PM) 2.5 y 10 disminuyen al establecer estas medidas.

**Figura 42.** Emisiones de partículas suspendidas (PM) 2.5 por categoría de vehículo y escenario para 2030 y 2050.



Fuente: Elaboración propia.

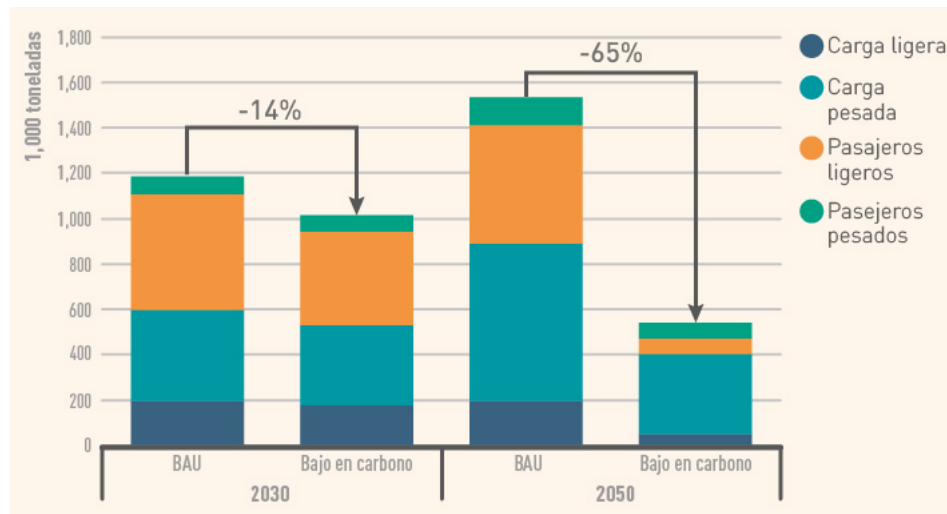
Como se puede observar, la categoría que contribuye en las emisiones de partículas suspendidas son los vehículos pesados, tanto de pasajeros como de carga, esto es principalmente por su uso de diésel. Para 2030, con el avance de medidas considerado se tiene una reducción del 4% sin embargo este ahorro aumenta en 2050 al ahorrar para ese año 46% comparado con el escenario tendencial, este nuevo valor es similar al evaluado para el año 2016.

En términos de carbono negro, se presenta una reducción de 49% para 2050. Esta reducción está principalmente enfocada a los tractocamiones y vehículos mayores pesados de carga con 13,640 toneladas, lo que equivale al 50% de su mitigación total.

Para las emisiones de NOx, se evaluó una reducción de 14% en 2030 y para 2050 aumenta a 65%, principalmente en los vehículos de pasajero ligero y carga pesada. Este nuevo valor se alinea lo publicado para NOx en el inventario de 1999.

Finalmente, se presenta que el contaminante criterio que presentó mayor reducción fue el amoníaco (NH3) con un 79%, seguido por el monóxido de azufre (78%) y los compuestos orgánicos volátiles (74%).

**Figura 43.** Emisiones de contaminantes criterio por tipo de vehículo.



Fuente: Elaboración propia.

### G.6.1. Corto plazo

Enfocándonos en el corto plazo, es decir esta década, se tiene una reducción de emisiones GEI del 20%, lo que equivaldría a mitigar 48 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e. Dentro de las acciones que son clave iniciar y fortalecer en este periodo son:

#### EVITAR

##### 1) La optimización de las rutas del transporte público en zonas metropolitanas.

Durante este periodo es necesario desarrollar estudios y análisis de optimización:

- EOD a bordo de la unidad (o estudio de ascenso-descenso) y domiciliaria
- Localizar polos de generación-atracción de viajes
- Inventario del equipo actual y de los servicios de transporte en la zona de influencia
- Investigación de la vialidad
- Trazo de la ruta existente (recorrido actual)
- Estudio de tiempos de recorrido
- Estudio de demoras por intersecciones y por cierre de circuito
- Trazo de la ruta propuesta
- Evaluación y análisis de implantación

Estas acciones pueden estar desarrolladas por el municipio o la zona metropolitana de estudio, para con ello poder proponer un cambio de rutas e identificar los polos de atracción de viajes y con ello poder solicitar estímulos financieros por parte del estado o federación en la nueva adaptación de estaciones y/o terminales.

### **2) La adopción parcial de actividades en línea.**

Esta medida podría iniciar a implementarse de manera parcial y mínima con cierto número de empleados para las categorías de empleos que puedan adaptarla. Se estima que para 2030, esta medida podría influir en 1.4% de la población total.

### **3) Mejoras en la logística en el transporte de carga.**

La coordinación entre las empresas transportistas puede ser difícil de implementar en muchos casos. Por lo que se debe generar una estrategia y pasos a seguir para no perder el objetivo principal de la coordinación.

Un ejemplo de ello es la coordinación entre la cadena Walmart México y Centroamérica y la multinacional de productos de cuidado personal y alimentos Unilever, donde de 2013 y 2016 han evitado 830 toneladas de CO<sub>2</sub> al optimizar sus viajes reduciendo los viajes en vacío (BBVA, n.d.).

### **4) Carriles especiales de vehículo compartido.**

Para 2030, se recomienda iniciar con proyectos piloto en ciudades metropolitanas, incentivando el uso de vehículo compartido en las horas pico entre semana. Para esta medida se propone que para ese año el pasajero promedio por vehículo haya aumentado a 1.53, es decir solo 0.03.

## **CAMBIAR**

### **1) Reparto modal del transporte de carga carretero a ferrocarril**

Se requiere iniciar con la transición de reparto modal del transporte de carga carretero a ferrocarril, se estima que 3% de las toneladas transportadas en camión ya hayan tenido cambio modal hacia ferrocarril.

### **2) Sistemas de transporte integrado.**

Se estima para ello una reducción 2.2% de los kilómetros recorridos para vehículos particulares en 2030 dada la inclusión de esta medida. Dado que esta estrategia cuenta con dos componentes principales como la compactación de la mancha urbana y la mejora en el transporte público.

Actualmente, los perímetros de contención urbana y los planes municipales de desarrollo urbano cumplen con el primer propósito de compactación de las ciudades; sin embargo, se requiere una continua vigilancia y capacitación para que tengan el funcionamiento adecuado; por otro lado, más ciudades mexicanas se están equipando de BRT; actualmente solo 7 ciudades metropolitanas cuentan con ellos, por lo que es importante impulsar su desarrollo.

## **MEJORAR**

### **1) Mayor penetración de automóviles y camiones híbridos.**

Para el 2030, se estima que el 3.5% de los vehículos ligeros y camiones sean híbridos, esta estimación considera tanto los vehículos híbridos con y sin enchufe.

### **2) Programa de chatarrización y renovación para el transporte de carga.**

Para este año se estima que aproximadamente 36 mil vehículos ya hayan sido beneficiados del programa. Se propone que el programa esté activo durante este

periodo, al menos del 2024 al 2030 y que se cumplan con las metas de vehículos beneficiarios anuales (al menos 6 mil vehículos anuales).

### **3) Mejorar la eficiencia de los vehículos ligeros.**

En este periodo se propone que ya se haya actualizado la norma 163 que cuente con estándares internacionales comparables y que se haya iniciado la limitación de los vehículos de segunda mano importados que no cumplan con los estándares de contaminación nacionales, por lo que si se quieren incorporar vehículos importados a la flota mexicana deberán evaluarse sus emisiones emitidas.

### **4) Adaptación de las bicicletas de carga en zonas metropolitanas con ciclovías.**

Se estima que para 2030 el 3% de la flota de vehículos ligeros para entrega de mercancías urbanas podría realizarse en bicicletas.

### **5) Cursos de conducción ecológica para los transportistas.**

Se propone que alrededor de 186 mil vehículos adicionales ya hayan adoptado las acciones de la capacitación.

Adicionalmente, se requiere generar y mejorar la información del sector, así como incluir en la normativa el desarrollo y fortalecimiento de la infraestructura de carga para las tecnologías alternativas de vehículos.

## **G.7. INSTRUMENTOS POLÍTICOS COMPLEMENTARIOS Y SUPUESTOS CONSIDERADOS**

Mientras que los vehículos eléctricos como el BEV y el FCEV no causan emisiones directas a través del funcionamiento del vehículo, es necesario considerar las emisiones procedentes del suministro de energía para la electricidad y el hidrógeno.

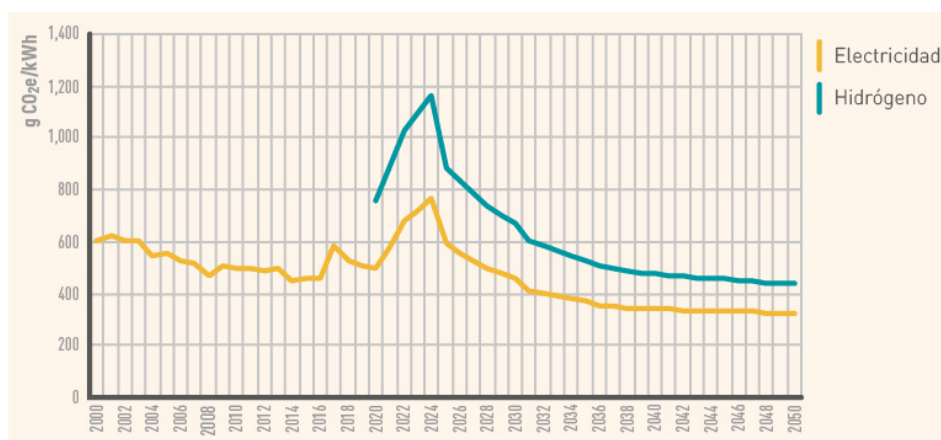
Para ello, se utilizaron factores de emisión de GEI para la electricidad estimados por ICM con insumos de Conuee, que se basa en datos históricos y una proyección hasta 2050.

Para el hidrógeno se asumió que la electrolisis con eficiencia electrolítica del 65 % en 2020 y del 75 % en 2050<sup>8</sup>. Tanto los factores de emisión de electricidad como de hidrógeno se muestran en la figura 44. Las emisiones para la producción de infraestructura (centrales eléctricas, redes, electrolizadores, entre otros) no se consideran en este estudio.

---

8. Matthes et al., 2020.

Figura 44. Factores de emisión para electricidad y producción de hidrógeno



Fuente: Elaboración propia.

La intensidad de emisión de la generación eléctrica es considerablemente alta. En comparación, el factor de emisión para EU-27 fue de 255 g de CO<sub>2</sub>/kWh en 2019 y se prevé que rondará los 80-90 g de CO<sub>2</sub>/kWh en 2030 (EEA, 2020), mientras que en México se muestra un aumento hasta 2025, y una disminución posterior de aproximadamente 330 g de CO<sub>2</sub>/kWh en 2050.

Estas elevadas emisiones perjudican considerablemente los posibles ahorros por lo que se requiere al mismo tiempo una reducción drástica de emisiones por kWh para destacar los beneficios ambientales y la viabilidad de los vehículos eléctricos.

Por otro lado, se considera que durante esta década se apliquen lo establecido en la NOM-044-SEMARNAT y la NOM-016-CRE. Puesto que, si no generan cambios durante este periodo, las emisiones estimadas para ambos escenarios cambiarán y afectará de manera negativa la mitigación estimada.

# H. Recomendaciones

## H.1. RECOMENDACIONES GENERALES

Para que la transición del transporte carretero resulte efectiva se debe comenzar con la pronta implementación de las medidas, las cuales en este estudio se agrupan en *evitar/cambiar*. Esto tomando en cuenta que las medidas que aquí se incluyen son de bajo costo y baja dificultad de implementación. Las mejoras de la implementación de estas medidas se reflejan en términos de eficiencia energética y optimización, elementos que son clave para alcanzar los compromisos planteados por México en los CND.

A pesar de que actualmente en México tenemos las metas establecidas en el Acuerdo de París y los compromisos de la LGCC, aun así, se tiene que observar el impacto de este sector a largo plazo dado que nuestras actividades actuales son las que definen la ruta futura, por lo que este estudio nos proporciona esa visión.

A lo largo del estudio, se identificaron ciertas medidas donde aún no se cuenta con información nacional que fortalezca los potenciales estimados. Por este motivo, se sugiere trabajarlas en conjunto con los gobiernos locales y estatales desarrollando proyectos piloto que ayuden a cuantificar los ahorros obtenidos, así como divulgan la importancia de la cooperación entre sus distintas secretarías. Estas medidas se relacionan principalmente con la optimización de entregas de última milla y sistemas de coordinación de transporte de carga.

Es importante generar una capacidad organizativa y que todos los actores desde su posición estén apoyando a esta transición. El sector transporte es integral y su comportamiento depende de muchos factores, por lo que cada actor debe tener definido cuál es su rol en este proceso y cómo puede apoyarlo.

Al mismo tiempo se requiere homologar los registros federales y estatales (SCT, INEGI, REPUVE) de la flota vehicular para obtener estadísticas que reflejen la situación del sector transporte y definir políticas públicas mediante acciones necesarias para la realización de prácticas de inspección y mantenimiento en flotas subnacionales que permitan identificar transporte con bajo rendimiento.

A su vez, se requiere mejorar e impulsar esquemas de financiamiento para el transporte público y el transporte de carga, así como actualizar las normas y estándares relativos a mejorar el rendimiento del combustible. Sin embargo,



esto debe ir acompañado del establecimiento de medidas para la realización de prácticas de inspección y mantenimiento en flotas subnacionales que permitan identificar transporte con bajo rendimiento.

Este estudio nos demuestra que para las medidas de cambio tecnológico la transición ya debería estar fortaleciéndose y ejecutándose; por ejemplo, se observa el pequeño impacto de la meta de vehículos pesados eléctricos de carga, pues al indicar que hasta 2050 el 100% de las ventas serán de distintas tecnologías (BEV & FCEV) esto afectaría al 25% del stock, mientras que el 75% restante continuaría utilizando diésel.

Este valor es muy pequeño si lo comparamos con el de los vehículos ligeros particulares donde su penetración crece exponencialmente una década antes; esto también nos indica que si se continua con esta meta para el transporte de carga pesado, se deben focalizar los esfuerzos en aquellas medidas de eficiencia energética y cambio modal, pues son esenciales para que el transporte de carga aproveche el potencial de optimización y eficiencia durante todo este periodo.

Los vehículos eléctricos de baterías y los de celdas de combustible de hidrógeno se muestran como medidas potenciales; sin embargo, aún se requiere mucho camino para poder penetrar estas tecnologías, principalmente hidrógeno.

Para ello, se requiere desarrollar un marco jurídico en materia de fomento a vehículos alternos. La electromovilidad debe tener fundamento en disposiciones legales para dar claridad respecto a la participación de todos los actores involucrados. Al mismo tiempo, se requiere adecuar marco normativo para sistemas de recarga y características de los vehículos y generar políticas para la producción de vehículos que complementen el decreto para vehículos eléctricos sin arancel.

Para la infraestructura de carga, se recomienda considerar actores federales, estatales, locales y privados y evaluar la disposición del espacio público y los programas de infraestructura local.

Por otro lado, como se mencionó en el documento, estos vehículos son técnicamente más eficientes que un vehículo convencional; sin embargo, su potencial se podría aprovechar muchísimo más si la producción de electricidad e hidrógeno proviene de fuentes renovables, por lo que para estas medidas se debe trabajar de la mano tanto en la parte de generación de energía, como en el mercado automotriz y en la infraestructura de recarga.

De igual forma, es de gran relevancia dar seguimiento, monitoreo y actualización a la estrategia mencionada y contar con la información más reciente que permita realizar diagnósticos actualizados tanto de las emisiones del sector transporte como propuestas que actualmente se estén realizando y que coadyuven a reducir las emisiones.

Por otra parte, diseñar campañas de difusión de los resultados y hallazgos obtenidos en la estrategia entre las y los tomadores de decisiones, así como entre

actores beneficiados propiciará un mayor interés dentro del sector permitiendo abrir el diálogo a diversos puntos de vista e ideas.

Este estudio presenta una evaluación de distintas medidas que se podrían incorporar a nivel nacional dado el contexto sociodemográfico y económico. Sin embargo, dados los resultados de la proyección, se aconseja realizar un estudio complementario de análisis costo-efectivo de cada una de las medidas para determinar con elementos adicionales a los técnicos aquí presentados, la factibilidad de cada una.

Asimismo, se requiere considerar que la implementación de las medidas debe tomar en cuenta elementos específicos del lugar donde se instrumenten, sobre todo aquellas que en este estudio tomaron en cuenta características de zonas metropolitanas y que son de jurisdicción subnacional.

El siguiente paso es desarrollar una estrategia integral y detallada del transporte carretero, pues al ya tener identificadas el paquete de medidas para reducir emisiones, ahora lo que sigue es implementarlo y generar sinergias entre los actores. Por supuesto, hay otras acciones que se podrían incluir durante el proceso dentro de este paquete, las cuales podrían fortalecer las medidas propuestas y se podría llegar al objetivo de los 1.5°C, por lo que la investigación y el desarrollo son claves en esta transición.

## **H.2. RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA EL TRANSPORTE DE CARGA**

El diagnóstico específico del sector transporte de carga, permitió identificar que la flota se caracteriza por ser una flota antigua, ser un sector muy atomizado, lo cual dificulta la implementación y alcance de las medidas y adicionalmente, es un sector que presenta informalidad.

Por estas características, es primordial que cualquier medida que propicie o busque un cambio tecnológico esté acompañado de incentivos económicos. Adicionalmente, también se debe trabajar juntamente con otros sectores, específicamente el energético, para asegurar el combustible requerido. Todo lo anterior, al mismo tiempo que se continua con las capacitaciones periódicas a los transportistas, así como con el fortalecimiento de programas que premien a aquellos que generen ahorros en combustible.

A continuación, se presentan algunos puntos complementarios:

- **Coordinación transversal.** Identificar estrategias de bajas emisiones que puedan ser compartidas transversalmente con otros sectores en los que puede haber sinergias y complementariedades, tales como: movilidad, urbanismo, medio ambiente, tránsito, cámaras de comercio, manufactura, etc.
- **Generar coordinación entre el transporte de carga carretero y las autoridades ferroviarias** para hacer una transición a este último esquema y generar búsquedas de las rutas más eficientes, un trabajo conjunto para garantizar la seguridad de las vías y fomentar programas para mejora de infraestructura.
- **Participación de los actores clave.** Un enfoque participativo puede generar la integración de los actores implicados. El diálogo y participación con los actores implicados es clave para una correcta formulación de las medidas y así evitar que supongan impactos desajustados sobre diferentes tipos de actores. La adecuada comunicación para cuidar los detalles de la implementación son claves para su efectividad.
- **Aumentar la información, monitoreo y seguimiento.** Los transportistas disponen de información incompleta y poco sistemática sobre la logística y sus viajes, lo cual es un lastre para la formulación de medidas y para su monitorización. Esto supone un reto importante porque en el ámbito de mercancías, especialmente en la última milla dichas fuentes son mucho más escasas y menos confiables.
- **Contemplar el impacto y la sostenibilidad económica de las medidas.** Como se mencionó anteriormente, es importante complementar este estudio, que pone los elementos técnicos, con un análisis costo-beneficio de las medidas. Esto, junto con la participación de todos los actores involucrados complementará cualquier estrategia y tendrá la posibilidad de que las medidas puedan ser asumidas por los actores implicados y ajustadas a la capacidad financiera de los municipios, estados y federación, tanto a corto como a medio y largo plazo.
- **Capacitar personal técnico en logística.** La continuidad, fortalecimiento y creación de programas de capacitación a los transportistas es primordial para seguir generando reducción de emisiones y de contaminantes criterio a bajo costo. Estos programas deben considerar la heterogeneidad del sector transporte de carga. Por el lado de las grandes empresas es recomendable que incorporen técnicos o los formen internamente para reforzar las capacidades técnicas internas en logística. Esto permite que los técnicos conozcan realmente cuáles son las realidades operativas, cuáles las posibilidades de que las medidas sean efectivamente implementadas o las regulaciones cumplidas. Por el lado del hombre-camión o de los pequeños transportistas, los programas federales y gratuitos de capacitación son elementos primordiales.

# I. Conclusiones

El propósito de este estudio es evaluar el desempeño del transporte carretero a nivel nacional desarrollando una proyección de su crecimiento hasta 2050 de manera tendencial para posteriormente proponer medidas que pudieran ayudar a tener un futuro más bajo en emisiones GEI y así poder alcanzar los compromisos de mitigación planteados para el sector transporte.

Para alcanzar esos objetivos, este estudio propuso elaborar un escenario bajo en emisiones utilizando dos herramientas conocidas a nivel internacional. La primera herramienta que ayudó en la modelación de escenarios alternativos fue MobiliseYourCity (MYC) desarrollada por el instituto alemán IFEU. La segunda herramienta utilizada fue MOVES de la EPA.

Con ambos modelos se evaluaron las diecisiete medidas que abarcan logística, cambios modales, eficiencia energética y sustitución de tecnologías de MCI utilizando el paradigma de evitar-cambiar-mejorar.

Los resultados indican que la inclusión de medidas en todos los aspectos del transporte es esencial para poder alcanzar los ahorros estimados. El sector transporte es uno de los sectores más integrales, es decir que, para lograr resultados de mitigación efectivos, se requiere realizar esfuerzos no solo en la parte tecnológica, sino también entender cómo nos movilizamos y qué modos de transporte son accesibles para las características del país.

De manera grupal, estas medidas representan un ahorro del 75% en las emisiones GEI para el 2050, equivalente 317 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e.

La mayor reducción de emisiones se presenta en los vehículos particulares (86%), siguiendo por la carga ligera (73%), la carga pesada (50%) y los autobuses del transporte público y federales (45%).

El paquete de medidas evaluadas guía al sector del transporte a alcanzar ~81% del camino al objetivo de 1.5°C, lo restante se podría alcanzar con medidas de los otros modos de transporte, así como medidas adicionales y/o incrementando la ambición de las medidas seleccionadas.

Esta reducción se lograría si se comienza desde esta década a realizar cambios en nuestra manera de movilizarnos, así como en mejoras de logística en el transporte de mercancías. Un retraso en la implementación disminuiría el potencial de mitigación estimado.

Asimismo, la pronta instrumentación de medidas, principalmente de evitar/cambiar, de bajo costo y/o baja dificultad de implementación, podría generar mayor

mitigación de emisiones durante este periodo. Las políticas y programas, así como la definición de instrumentos regulatorios, que se realicen en esta década son esenciales para poder alcanzar la reducción de emisiones modelada.

Actualmente muchas de estas medidas se están considerando en distintos programas y planes de crecimiento, sin embargo, se deben de fortalecer los esfuerzos y la cobertura de los programas para mayor efectividad.

# Definiciones

---

<b>AIE</b>	Agencia Internacional de Energía
<b>CND</b>	Contribuciones Nacionalmente Determinadas
<b>Conuee</b>	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
<b>FCEV</b>	Vehículos eléctricos de celdas de combustible de hidrógeno
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>INECC</b>	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
<b>KRV</b>	Kilómetros recorridos por vehículo
<b>SICT</b>	Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SHCP</b>	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
<b>VEB</b>	Vehículos eléctricos de baterías

---

## J.1. METODOLOGÍA

### Categorías de vehículos de pasajeros

Tabla 10. Definición de las categorías de vehículos.

CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS MOVES (ID)	CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS MYC	DESCRIPCIÓN
Motocicletas (11)	Motocicletas	Vehículo con menos de cuatro ruedas
Automóviles particulares (21)	Automóviles de pasajeros	Incluye taxis
Camionetas de pasajeros (31)	Camionetas de pasajeros	Camionetas de transporte público <sup>9</sup> , pickup y camionetas menores a 3 ton
Autobús de tránsito (42)	Autobuses	Incluye Microbuses y midibuses.

MOVES-México tiene cuatro categorías de vehículos para el transporte de pasajeros: motocicleta, automóvil de pasajeros, camión de pasajeros y autobús de tránsito. Los datos dentro de la herramienta para todos los camiones ligeros (pasajeros y carga) se dividieron en una categoría de vehículos privados y una categoría de vehículos comerciales, con el 97% de los vehículos y el kilometraje atribuido a los camiones privados de pasajeros y el 3% a los camiones comerciales ligeros. Sin embargo, esta distribución se adaptó a los datos más recientes donde se tiene una asignación de 45% para los camiones de pasajeros y del 55% para los camiones comerciales ligeros (INECC, 2018).

### Kilómetros recorridos

#### PASAJEROS

Los resultados del kilometraje y del rendimiento del transporte de pasajeros calculados en la herramienta MYC se basan en los siguientes datos de entrada:

- Kilómetros recorridos
- Tasa de ocupación por categoría de vehículo

9. También conocidas como "combis".

Los datos sobre la actividad vehicular en MOVES-México se basan en estimaciones del INECC para KRV y la población vehicular para 2013. Estas cifras se proyectaron a 2050 utilizando una previsión del parque automotor proporcionada por la INECC (USAID / INECC 2016).

El INECC estimó estas distancias a partir de la información recogida en 21 ciudades para estudios desarrollados entre 2008 y 2011. Es importante mencionar que MOVES-México provee solo dos categorías de combustible: gasolina y diésel.

**Tabla 11.** Ocupación promedio, porcentaje por tipo de combustible y distancia anual promedio por categoría de vehículo.

CATEGORÍA	TASA DE OCUPACIÓN [pasajeros/vehículo] Fuente: INEGI	GASOLINA (distribución de KRV) Fuente: MOVES	DIÉSEL (Distribución de KRV) Fuente: MOVES	DISTANCIA PROMEDIO [KM] Fuente: MOVES
Automóvil de pasajeros	1.5	99.94%	0.06%	15.1
Motocicleta	1.0	100%	-	26.7
Camioneta de pasajeros	1.9 <sup>10</sup>	99.5%	0.5%	10.9 <sup>11</sup>
Autobús	30	41.1%	58.9%	13.1

### CARGA

Los resultados del kilometraje y del rendimiento del transporte de mercancías calculados en la herramienta MYC se basan en los siguientes datos de entrada:

- El kilómetro del vehículo (KRV) por categoría de vehículo (proporcionado directamente por la herramienta MOVES)
- La carga por categoría de vehículo

10. Promedio ponderado por kilometraje de camiones privados/camionetas (1.5 pasajeros/vehículo) y camionetas ligeras de transporte público (combis) (10 pasajeros/vehículo)

11. Promedio ponderado por kilometraje de camiones privados/camionetas (13.429 km) y camiones ligeros de transporte público (16.893 km)



**Tabla 12.** Toneladas de carga máximas por vehículo y distribución por tipo de combustible.

CATEGORÍA VEHICULAR	CARGA [ton/vehículo] Fuente: SCT, ARTF	GASOLINA (distribución de KRV) Fuente: MOVES	DIÉSEL (Distribución de KRV) Fuente: MOVES
Camión ligero comercial	0.6	99.5%	0.5%
Camión unitario de corta distancia	5.9	37.4%	62.6%
Camión unitario de larga distancia	5.9	37.4%	62.6%
Tractocamión de corta distancia	17.1	-	100%
Tractocamión de larga distancia	17.1	-	100%
Ferrocarril de carga	2,446	-	100%

## Consumo de combustible

### PASAJEROS

**Tabla 13.** Consumo de combustible en litros/100 km para el escenario tendencial (transporte de pasajeros).

CATEGORÍA VEHICULAR	FUENTE	COMBUSTIBLE	2016	2020	2025	2030	2040	2050	CAMBIO % (2016 - 2050)
Automóvil particular	MOVES	Gasolina <sup>12</sup>	9.8	9.6	9.3	8.9	8.3	8.1	-17%
Motocicleta	CONUEE	Gasolina	4.05	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	-11%
Camioneta de pasajeros	MOVES	Gasolina	13.0	12.5	11.7	11.0	10.1	9.8	-25%
	MOVES	Diésel	15.8	15.4	14.3	13.4	12.4	12.3	-22%
Autobús	MOVES	Gasolina	35.4	35.1	34.6	34.3	34.0	33.7	-3%
	MOVES	Diésel	33.3	32.9	32.4	32.1	31.8	31.4	-5%

12. 99,9 % de los vehículos de pasajeros son vehículos a gasolina.

**CARGA**

**Tabla 14.** Consumo de combustible en l/100 km para el escenario tendencial (transporte de carga).

CATEGORÍA VEHICULAR	COMBUSTIBLE	2016	2020	2025	2030	2040	2050	CAMBIO % (2016 - 2050)
Camioneta ligera comercial	Gasolina	12.9	12.4	11.6	10.9	10.1	9.8	-24%
	Diésel	15.2	14.6	13.4	12.3	11.2	11.0	-27,6%
Camión unitario de corta distancia	Gasolina	26.9	26.4	25.7	25.4	25.2	25.1	-6,7%
	Diésel	24.4	23.7	22.8	22.4	22.1	22.0	-9,8%
Camión unitario de larga distancia	Gasolina	25.2	24.7	24.1	23.8	23.7	23.6	-6,3%
	Diésel	22.7	22.1	21.4	21.0	20.8	20.7	-8,8%
Tractocamión de corta distancia	Diésel	42.3	41.0	39.7	39.1	38.8	38.7	-8,5%
Tractocamión de larga distancia	Diésel	43.9	42.5	41.0	40.2	39.7	39.5	-10%
Ferrocarril de carga	Diésel	2092	2092	2092	2092	2092	2092	0%

### Consumo de energía para las diferentes tecnologías y vehículos en el escenario climático

**Tabla 15.** Consumo de energía de distintas tecnologías (transporte de pasajeros): unidades: litro de gasolina/100km para HEV, kWh/100km para BEV y kg H2/100km para FCEV.

CLASE DE VEHÍCULO	FUENTE	TECNOLOGÍA	2025	2030	2040	2050	CAMBIO % (2025 - 2050)
Automóvil de pasajero	Industria automotriz	HEV	4.8	3.6	3.5	3.5	-27%
	TREMOT	BEV	23.4	23.4	23.4	23.4	0% <sup>13</sup>
Motocicleta	TREMOT	BEV	4.2	4.0	4.0	4.0	-3%
Camioneta de pasajero	ICCT	HEV	5.8	5.7	5.3	5.0	-14%
	TREMOT	BEV	39.9	40.2	40.3	40.3	+1%
Autobús	TREMOT	BEV	179.4	178.8	178.9	178.9	-0.3%
	TREMOT	FCEV	8.5	8.5	8.5	8.5	-0.3%

13. El consumo de energía para BEV incluye pérdidas de carga y es una estimación conservadora. Asume que las mejoras de baterías más grandes superan la eficiencia energética.

**Tabla 16.** Consumo de energía de las tecnologías alternativas (transporte de mercancías): unidades: litro de gasolina/100km para HEV, kWh/100km para BEV, kg H2/100km para FCEV.

CLASE DE VEHÍCULO	FUENTE	TECNOLOGÍA	2025	2030	2040	2050	CAMBIO % (2025 - 2050)
Camión ligero comercial	TREMOD	BEV	39.9	40.2	40.3	40.3	+0.8%
	TREMOD/estimaciones propias	FCEV	4.9	4.9	4.9	5.0	+0.6%
Camión unitario	TREMOD	BEV	104.1	104.1	104.4	104.7	+0.6%
	TREMOD/estimaciones propias	FCEV	4.9	4.9	4.9	5.0	+0.6%
Tractocamión	TREMOD	BEV	187.3	187.4	188.1	188.9	+0.8 %
	TREMOD/estimaciones propias	FCEV	9.2	9.2	9.3	9.3	+0.8 %

### Estimación de las tasas de supervivencia para los vehículos

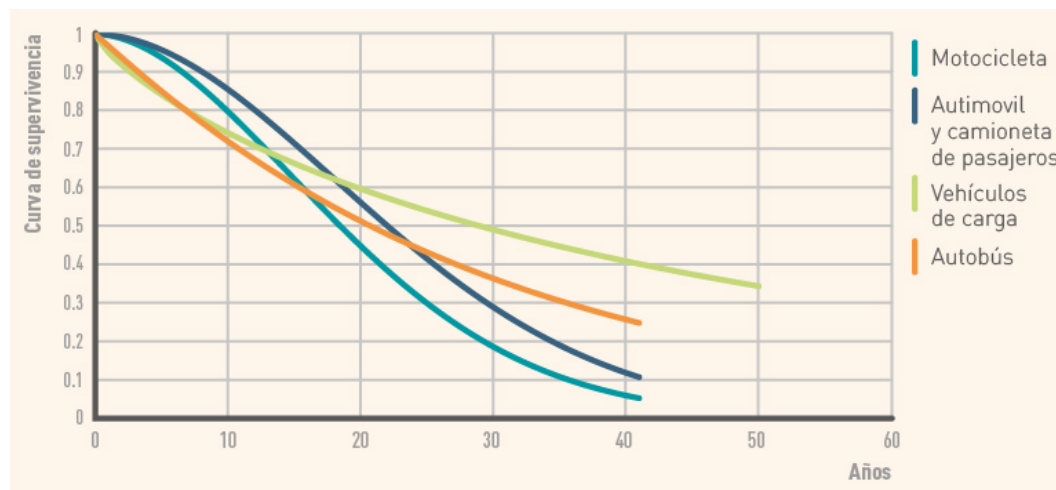
El modelo de la flota desarrollado por Ifeu toma en cuenta la flota actual, las nuevas matriculaciones y las tasas de supervivencia de los vehículos

Primero, ifeu derivó las tasas de supervivencia de vehículos a partir de los datos de la flota histórica. ifeu adaptó los datos a una distribución de Weibull, ya que también se utiliza en TREMOD. Se define como:

$$R(t) = e^{-\frac{t^b}{T}}$$

$R$  es la tasa de supervivencia después de  $t$  años, con una tasa de supervivencia de 0,5, lo que significa que la mitad de los vehículos matriculados en un año específico todavía están en la flota. Los coeficientes  $b$  y  $T$  se obtuvieron ajustando los datos reales a la función anterior (véase el cuadro 10 del anexo). La figura 45 muestra las curvas de supervivencia resultantes.

**Figura 45.** Curvas de supervivencia por vehículo.



## J.2. FICHAS METODOLÓGICAS DE CADA MEDIDA

### CARRILES DE VEHÍCULO COMPARTIDO

#### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir los kilómetros recorridos anuales de los vehículos particulares, tanto automóviles, como camionetas por medio de:

- **La adaptación de carriles especiales o carriles de alta ocupación para vehículos con dos o más pasajeros por unidad en vialidades de circulación continua donde se genera congestión vehicular en horas pico.**
- **Incentivar el uso compartido del vehículo particular**
- **Desincentivar el uso de vehículos con baja ocupación**
- **Fomentar el uso de transporte público**



#### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Esta estrategia de manejo de tráfico es utilizada para promover e incentivar el uso compartido de vehículos, aliviando así la congestión y maximizar la capacidad de transporte de personas en vialidades. Pueden variar el número mínimo de personas dentro del vehículo, así como los horarios de funcionamiento como carril exclusivo. La seguridad de estos carriles es esencial.

Fuente: Caltrans. (2018). Traffic Operations. Retrieved from High Occupancy Vehicle (HOV) Systems: <https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/hov>

- › Se ha evaluado que esta medida en ciudades medianas de Europa es factible.
  - › En las autopistas los vehículos pueden reducir su tiempo de viaje (2%) y se tiene reducciones en el área de estudio de un 38% en NOx y 37% de CO<sub>2</sub>.
  - › En los corredores urbanos y arteriales, para tener una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> entre 35-39% se tendría que aumentar la ocupación promedio por vehículo de 1.5 a 1.7.
- Fuente: Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J. M., Pereira, S. R., Khattak, A. J., & Coelho, M. C. (2014). Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city? Transportation Research Part A: Policy and Practice, 63, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.03.002>.

- › Para la Ciudad de México, el Plan de Reducción de Emisiones del Sector Movilidad en la Ciudad de México impulsa la acción de coche compartido en algunas vías de acceso controlado obligatorio de 7 a 10 h, a 2020. Sin embargo, a la fecha no se tiene reporte de qué vialidades están implementando esta opción.

Fuente: Gobierno de la Ciudad de México. (2020). Plan de Reducción de emisiones del sector movilidad en la Ciudad de México. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.

- › En un estudio por el ITDP de 2008, se propone la Calzada de Tlalpan como vialidad con posibilidad de albergar un carril para vehículos de alta ocupación (HOV por sus siglas en inglés).

## CARRILES DE VEHÍCULO COMPARTIDO

- › Tomando esto en cuenta, además de su configuración y flujos vehiculares, el sistema a implementar en esta vialidad podría: compartir carril con el transporte público, clasificar aforos vehiculares por nivel de ocupación, establecer línea base, caracterizar el corredor, contar con mecanismos de sanción claros y dispositivos de incorporaciones y desincorporaciones

Fuente: Baranda Sepúlveda, B. (2009, abril). Gestión de la Demanda en la Ciudad de México. Ciudad de México, Ciudad de México, México, <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/1069>

- › Conuee con el apoyo de la Agencia Francesa de Medio Ambiente y de Gestión de la Energía (ADEME) y Enerdata desarrollaron un escenario de eficiencia energética donde estiman el total de la flota vehicular y los pasajeros totales hasta 2050, donde se pudo obtener los pasajeros por vehículo.
- › Para 2014 (año base) se indica que el promedio de pasajeros por vehículo es de 1.52 y estiman que para 2050 este será de 2.5.
- › Este crecimiento se planea que irá acompañado de incentivos para promover el vehículo compartido

Fuente: CONUEE. (2018). Forecast tool. Base de Indicadores de Eficiencia Energética. <https://www.biee-conuee.net/previsions/home/>

En este escenario se propone que para el 2050 el promedio sea de 1.65 ocupantes por vehículo (1.53 en 2030), creciendo únicamente 10% comparado con el valor promedio de la EOD 2017.

Esta medida haría que la distribución de los pasajeros por vehículo cambie para ese año. De acuerdo con la EOD 2017, 68% de los viajes se realizan con un pasajero, sin embargo, si se quisiera llegar a la meta y si consideramos esta distribución a nivel nacional, ese porcentaje tendría que ser 26%, es decir que 42% de los viajes que actualmente se realizan con un pasajero tendrían que compartir el vehículo con una persona más.

Cabe mencionar que el supuesto se hizo que estos vehículos solo aumentarían un pasajero más, sin embargo, si estos vehículos son 3 o más pasajeros, la distribución cambiaría.

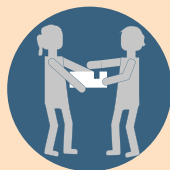
## ADOPCIÓN PARCIAL DE ACTIVIDADES EN LÍNEA

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea incentivar la adopción del trabajo a distancia debido a sus siguientes beneficios:

- **El trabajo a distancia o tele-empleo permite que los empleados laboren desde casa y utilicen la tecnología y las telecomunicaciones en lugar de trasladarse físicamente al lugar de trabajo.**

Esta medida ayuda a reducir el tiempo de traslado, la congestión vehicular en horas pico, ahorro de combustible y el costo asociado al transporte por parte del usuario.



### UPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida 2 se consideraron los siguientes supuestos:

- › Se identificaron los tipos de trabajo que son adecuados para realizar empleo en hogar.
- › El tele-empleo es más adecuado para labores de oficina, para empleados que no siempre necesitan estar físicamente presentes en su lugar de trabajo.

Fuente: Replogle, M., Ríos, R. A., Porter, C., & Tao, W. (2013). Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/16402/estrategias-de-mitigacion-y-metodos-para-la-estimacion-de-las-emisiones-de-gases>

- › Se considera esta medida debido a los cambios generados por la pandemia COVID-2019, donde en 2020 se redujo a nivel nacional 36% la demanda de transporte hacia los lugares de trabajo, reduciendo la congestión vehicular y la venta de combustible.

Fuente: Google. (2021). COVID-19 Community Mobility Reports. <https://www.google.com/covid19/mobility/>

- › Para la estimación del porcentaje de empleos que cumplen con estas características se tomó el Censo de Población y Vivienda 2020 identificando los sectores de actividades económicas y las posiciones que podrían ser adecuados para el empleo en el hogar.
- › Se seleccionaron aquellos con posiciones de funcionarios, directores y jefes; profesionistas y trabajadores auxiliares en actividades administrativas.

Fuente: INEGI. (2021). Censo Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Resultados\\_generales](https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Resultados_generales)

- › Esta medida propone que la transición de tele-empleos será paulatina hasta 2050, estimando que esos tipos de empleos sean de manera remota.
- › Sin embargo, de acuerdo con la Encuesta Origen-Destino de la ZMVM 2017, únicamente el 34.8% de los viajes con propósito para ir al trabajo utilizan vehículo privado, motocicleta y/o taxi, por lo que esta medida impactaría al 7% de la población nacional, si se continúa con la tendencia y la distribución de empleos actual.

Fuente: INEGI. (2018). Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD) 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>

## SISTEMAS DE COORDINACIÓN PARA EL TRANSPORTE DE CARGA

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el consumo de combustible y los kilómetros recorridos por vehículo en el transporte de carga pesado por medio de:

- **Coordinando el funcionamiento de los vehículos pesados entre diferentes compañías**
- **Reduciendo los viajes en vacío (backhaul)**
- **Incorporar comunicación GPS para encontrar la mejor ruta en tiempo real**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › El sector del transporte de carga encuentra la falta de coordinación a nivel industrial y cooperación por las empresas como una barrera.
- › Así como la estructura del mercado y las distintas escalas entre las compañías, ya que muchas tienen muy pocos vehículos de carga (hombre-camión) y las mínimas empresas son a mayor escala y las que abarcan en un gran número de vehículos.
- › Optimizar el transporte de carga generando sistemas de coordinación de los vehículos pesados entre diferentes compañías puede reducir el consumo de energía entre un 5 y 10%.

Fuente: IEA. (2017). The Future of Trucks. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

- › Islas-Samperio (et al., 2019) indica que en México 36.8% del total de los viajes de carga son viajes en vacío, por lo que se plantearía con esta medida reducir este porcentaje.

Fuente: Islas-Samperio, J. M., Manzini, F., & Grande-Acosta, G. K. (2019). Toward a Low-Carbon Transport Sector in Mexico. *Energies*, 13(1), 84. <https://doi.org/10.3390/en13010084>

- › La coordinación entre la cadena Walmart México y Centroamérica y la multinacional de productos de cuidado personal y alimentos Unilever, donde de 2013 y 2016 han evitado 830 toneladas de CO<sub>2</sub> al optimizar sus viajes reduciendo los viajes en vacío.

Fuente: BBVA. (n.d.). ¿Qué es el 'backhaul'? Volver con el camión lleno es sostenible. BBVA. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-backhaul-volver-con-el-camion-lleno-es-sostenible/>

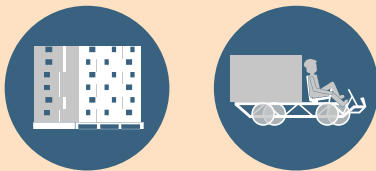
Para este escenario se estima que, si la mejora en la coordinación entre las diferentes empresas que conforman el transporte de carga iniciara en 2025, se tendría que para 2030 el 2% de la flota ya se vería influenciada por las ventajas de dicha medida y para 2050 se estimaría que el 100% de la flota ya se encuentre dentro de este esquema de coordinación, lo cual tendría un ahorro aproximado de 9% en consumo de combustible.

## OPTIMIZACIÓN EN LAS ENTREGAS DE ÚLTIMA MILLA

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el consumo de combustible y los kilómetros recorridos de los vehículos ligeros de carga, utilizados para la entrega de mercancías en la última milla, por medio de:

- **La incorporación de medidas que fomenten su optimización, como los centros de consolidación urbanos, las bahías de carga y descarga y cajas bento.**
- **Desarrollando casos de estudio en ciudades mexicanas por rangos de tamaños de ciudad para poder entender cuáles de las medidas son más adecuadas a cada tipo de ciudad.**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Primero se evaluó la importancia del sector de la última milla.
- › Este sector ha tenido un gran crecimiento debido las entregas de paquetería por el comercio electrónico, que tiene un crecimiento esperado de 79% a nivel global para 2030 (WEF, 2020) por lo que desde este periodo se tienen que desarrollar estudios de optimización para que crezca de la manera más eficiente y sustentable posible.
- › En México este sector ha crecido pues el número de usuarios que utilizan el internet para comprar productos a aumentado en los últimos 5 años, pasando de 9.7% en 2015 al 27.7% (23.2 millones de personas) en 2020.
- › Asimismo, en 2015 se tenía un promedio de entregas por año de 7 productos por persona y este pasó a 16 en 2020.

Fuente: INEGI. (2021). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2020/#Microdatos>

- › La última milla se considera la parte más cara de la cadena de suministro, y también, la más ineficiente: puede representar desde el 28% hasta el 75% de los costos de transporte y distribución
- › Un enfoque de distribución de mercancías por la noche podría reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 20%, reducir los tiempos de viaje y aumentar la velocidad del vehículo.

Fuentes: Bosona, T. (2020). Urban Freight Last Mile Logistics—Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. *Sustainability*, 12(21), 8769. <https://doi.org/10.3390/su12218769>

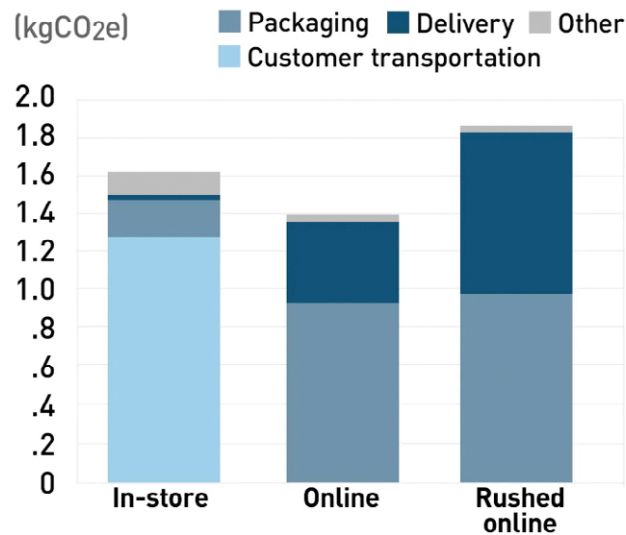
Jaller, M., S. Sánchez, J. Greene, and M. Fandiño (2016). Quantifying the Impacts of Sustainable City Logistics Strategies in the Mexico City Metropolitan Area. *Transportation Research Procedia*. (12):613-626

- › Optimizar el último tramo del viaje para la entrega de mercancía, donde el destino puede referirse a tiendas, supermercados, comercios o domicilios particulares, incorporando medidas como los centros de consolidación, bahías de carga y descarga y/o vehículos eléctricos, puede llegar a consumir entre un 5 a 10% menos energía, dependiendo el grado de implementación y las medidas que se consideren.



## OPTIMIZACIÓN EN LAS ENTREGAS DE ÚLTIMA MILLA

### Carbon footprint of in-store shopping vs. online shopping



Fuente: Weideli, D. (n.d.). Environmental Analysis of US Online Shopping. [https://ctl.mit.edu/sites/ctl.mit.edu/files/library/public/Dimitri-Weideli-Environmental-Analysis-of-US-Online-Shopping\\_0.pdf](https://ctl.mit.edu/sites/ctl.mit.edu/files/library/public/Dimitri-Weideli-Environmental-Analysis-of-US-Online-Shopping_0.pdf).

> La generación de centros de consolidación urbanos en ciudades principalmente europeas y algunas en Japón han presentado ahorros de 30-80% de emisiones GEI.

Fuente: IEA. (2017). The Future of Trucks. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>

> En Londres, un transportista puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 45%, las emisiones de NO<sub>x</sub> en un 33%, la distancia de conducción en un 78% y el tiempo de estacionamiento en la acera en un 45%; además, sus ahorros de costos rondarían el 34% -39%.

Fuente: McLeod, F. N., Cherrett, T. J., Bektas, T., Allen, J., Martinez-Sykora, A., Lamas-Fernandez, C., Bates, O., Cheliotis, K., Friday, A., Piecyk, M., & Wise, S. (2020). Quantifying environmental and financial benefits of using porters and cycle couriers for last-mile parcel delivery. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 82, 102311. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102311>

> Otra medida serían las zonas de carga y descarga dentro de las zonas urbanas, donde se asignan espacios exclusivos en la vía pública para permitir las operaciones de carga y descarga de mercancías, teniendo mayores beneficios en núcleos urbanos con alta densidad de comercios y donde actualmente se genera congestión vehicular.

Fuente: CAF. (2019). Guía de buenas prácticas en logística urbana sostenible y segura. <https://hdl.handle.net/11537/27950>

> La falta de organización en las entregas puede generar que se consuma mayor combustible si la entrega es solicitada como entrega rápida.

Fuente: Weideli, D. (n.d.). Environmental Analysis of US Online Shopping. [https://ctl.mit.edu/sites/ctl.mit.edu/files/library/public/Dimitri-Weideli-Environmental-Analysis-of-US-Online-Shopping\\_0.pdf](https://ctl.mit.edu/sites/ctl.mit.edu/files/library/public/Dimitri-Weideli-Environmental-Analysis-of-US-Online-Shopping_0.pdf).

Para este escenario y debido a que no se encontraron casos de estudio para esta categoría de vehículos a nivel nacional, se proponen un paquete de acciones estratégicas que se incluyen dentro de la misma medida pero que se podrían considerar cualquiera de ellas, dependiendo el área urbana y sus características particulares.

Se plantea un ahorro de 5% en combustible para esta medida como se estima en el documento de la (IEA, 2017). Este ahorro se aplicará únicamente a los vehículos de carga ligera comercial, es decir aquellas camionetas pickups, van

## OPTIMIZACIÓN EN LAS ENTREGAS DE ÚLTIMA MILLA

y camiones menores a 3.8 toneladas que son utilizados para el traslado urbano de mercancías.

Dado que aún no se cuentan con casos de estudio ni normatividad o regulación en México en este ámbito y su crecimiento en los últimos años ha sido exponencial, se estima que su ahorro máximo se daría y aplicaría a toda la flota en circulación hasta 2050, por lo que la reducción por combustible a 2050 sería del 5%.

## INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS TRACTOCAMIONES Y CAMIONES DE CARGA

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el consumo total de combustible y la distancia recorrida de los camiones de carga por medio de:

- **El aumento de la carga transportada por vehículo pues es una buena manera de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> sin reducir la movilidad del transporte de mercancías.**
- **Evaluando la capacidad del vehículo por normativa contra el espacio y peso de la carga.**
- **Identificando la ruta planteada para poder distribuir mercancía en puntos intermedios.**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Incrementar la capacidad (toneladas transportadas) en el transporte de mercancías ayuda a reducir el consumo de energía por mercancía transportada entre un 5 a 10%.  
Fuente: IEA. (2017). The Future of Trucks. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>
- › El factor de carga de los viajes realizados se ve influida principalmente por el tamaño del envío, el tipo de mercancía y las prácticas de entrega inmediata, mientras que los viajes en vacío están más bien influidos por el desequilibrio de las operaciones físicas.
- › Estas dos problemáticas pueden mejorarse optimizando la información de las empresas del transporte, su eficacia en la agrupación de paquetes y envíos en cargas consolidadas y en la reducción de las barreras del mercado.

Fuente: Rizet, C., Cruz, C., & Mbacké, M. (2012). Reducing Freight Transport CO<sub>2</sub> Emissions by Increasing the Load Factor. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.999>

- › Esta medida va de la mano con la medida de sistemas de coordinación para el transporte de carga puesto que puede haber casos donde una misma empresa no puede incrementar la capacidad de carga para una ruta específica por lo que la coordinación con otras compañías ayudaría a complementar esas toneladas.
- › En 2011 el tractocamión T3-S2 tenía un factor de carga promedio de 37% es decir no se utilizaba ni la mitad de su capacidad de carga permitida. El promedio de factor de carga promedio de las muestras de todos los tipos de vehículos de carga pesados fue de 60%.

Fuente: IMT (2011). Indicadores Económicos en el Autotransporte Federal de Carga. Instituto Mexicano del Transporte

- › En Alemania se evaluó que en un periodo de 15 años el aumento del factor de carga de un tractocamión de 40 toneladas euro V que pasó de 50% al 67% condujo a un aumento del consumo de combustible por vehículo-km en un 8%. Sin embargo, por tonelada transportada-km, el consumo de combustible y las emisiones de GEI

## INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LOS TRACTOCAMIONES Y CAMIONES DE CARGA

disminuyeron un 20%. Lo que significa que se reduciría el número de vehículos y KRV para transportar la misma cantidad de mercancía.

Fuente: Dunnebeil F., Lambrecht U. (2012) Fuel efficiency and emissions of trucks in Germany. An overview. IFEU

Para esta medida se propone que durante un periodo de 15 años el factor de carga aumente un 5% en los tractocamiones, lo que se traduciría de manera general que el factor de carga sea de 65% con este cambio, lo que tendría una reducción de 5.5% del consumo de combustible y emisiones GEI totales, similar a lo estimado por la IEA.

## OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN ZONAS METROPOLITANAS

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea optimizar las rutas de transporte público para las zonas metropolitanas con el objetivo de:

- **Atraer la elección de quienes utilizan vehículos particulares hacia el transporte público mediante un servicio más rápido, confiable y cómodo.**
- **Asegurarse de que los usuarios de transporte público existentes no cambien de medio hacia vehículos particulares al aumentar sus ingresos.**
- **Optimizar la eficiencia del servicio, al reducir los tiempos de viaje y transbordo e incrementar la confiabilidad de los horarios mediante operaciones e infraestructura de transporte público y de rutas.**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Un estudio de la UNAM estima que la optimización de las rutas de transporte público reduciría, por un lado, la flota de autobuses urbanos en un 20% en las grandes ciudades (más de 1 millón de habitantes) y, por otro lado, en una reducción del transporte público en un 44% en las ciudades medianas (entre 500 mil y 1 millón de habitantes) en un periodo de 20 años.

Esta medida se plantea se inicie en el año 2 del periodo proyectado.

Fuente: Islas-Samperio, J. M., Manzini, F., & Grande-Acosta, G. K. (2019). Toward a Low-Carbon Transport Sector in Mexico. *Energies*, 13(1), 84. <https://doi.org/10.3390/en13010084>

- › A nivel subnacional, en Querétaro se estimó que una combinación del tamaño reducido de la flota (de unos 1,300 a 700 vehículos) y la optimización de la ruta del autobús ha dado como resultado una reducción anual del 85% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (aproximadamente 22,000 toneladas).

Fuente: Cordeiro, Maria, Lee Schipper, and Diana Noriega. 2008. *Measuring the Invisible: Quantifying Emissions Reductions from Transport Solutions—Querétaro Case Study*. Washington, DC: EMBARQ, World Resources Institute, and Center for Sustainable Transport of Mexico (CTS-México). [https://www.wrirosscities.org/sites/default/files/EMBARQ\\_Measuring\\_the\\_Invisible\\_Quetaro.pdf](https://www.wrirosscities.org/sites/default/files/EMBARQ_Measuring_the_Invisible_Quetaro.pdf)

- › De acuerdo con el BID, la medida de mejores operativas en el transporte público en Latinoamérica son adecuadas para la implementación debido a su bajo costo de implementación y a que sus emisiones evitadas están en el rango de medio-alto.

Fuente: BID. (2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estrategias-de-mitigaci%C3%B3n-y-m%C3%A9todos-para-la-estimaci%C3%B3n-de-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-el-transporte.pdf>

- › Puesto que esta medida se plantea se ejecute únicamente en las zonas metropolitanas, se debe de analizar cuál es su contribución en las emisiones totales nacionales de fuentes móviles.
- › Actualmente hay identificadas 74 zonas metropolitanas conformadas por 401 municipios.

## OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN ZONAS METROPOLITANAS

- › En estas ciudades que conforman las zonas metropolitanas residen el 74.2 por ciento del total de la población nacional.

Fuente: SEDATU & CONAPO. (2018). Sistema Urbano Nacional 2018. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población. <http://www.gob.mx/conapo/documentos/sistema-urbano-nacional-2018>

- › Para 2016, las Zonas Metropolitanas representaron el 70% de las emisiones nacionales de fuentes móviles carreteras.

Fuente: SEMARNAT. (2019). Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio 2016 (Documentos del Inventario Nacional de Emisiones). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones>

- › Para esta proyección, se estima que si se implementa esta medida habrá una reducción del 20% de la flota en circulación al mejorar y optimizar la operación del transporte público, tal como lo indica Islas-Samperio et. al (2019).

- › Al ser una acción propuesta únicamente para las zonas metropolitanas, las cuales son responsables del 70% de las emisiones, la reducción a escala nacional para el modelo se reflejaría de 14%.

- › Esta medida se tiene planeada sea implementada en el corto plazo, pero su aplicación para todas las ciudades tendrá un periodo de 25 años, por lo que la reducción de emisiones puede impactar de manera desproporcionada ya que cada ciudad tendrá un impacto de mitigación distinto.

- › Adicionalmente, para su efectiva implementación los gobiernos locales deben realizar EOD a bordo de la unidad (o estudio de ascenso-descenso) y domiciliaria; localizar polos de generación-atracción de viajes; generar un inventario del equipo actual y de los servicios de transporte en la zona de influencia; y trazar la ruta existente (recorrido actual) y la propuesta evaluando y comparando los tiempos de recorrido, las demoras por intersecciones y por cierres de circuitos.

Fuente: Tun, T. H., Welle, B., Hidalgo, D., Albuquerque, C., Castellanos, S., Sclar, R., & Escalante, D. (2020). Informal and Semiformal Services in Latin America: An Overview of Public Transportation Reforms. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0002831>

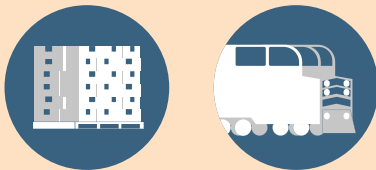
## REPARTO MODAL DEL TRANSPORTE DE CARGA CARRETERO A FERROCARRIL

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea incrementar las toneladas transportadas en ferrocarril transfiriendo carga que es usualmente trasladada por carretera:

- **Esta medida reduce el consumo de energía por toneladas-kilómetro transportadas.**
- **Con un Petajoules (PJ) de combustible consumido se transportan en carretera 797 millones de toneladas-kilómetro (Mtkm) mientras que en ferrocarril se transportan 3,873 Mtkm con el mismo combustible.**
- **Este cambio modal es viable para el traslado de mercancía de largas distancias.**

La medida aplica únicamente para camiones y tractocamiones de largo recorrido.



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › En 1980, México contaba con 25,510 kilómetros de vías férreas; posteriormente hubo incrementos pequeños hasta llegar a la extensión de 26,914 kilómetros en 2019.
- › Sin embargo, hay 3,445 kilómetros de vía fuera de operación.
- › La red es operada por 7 empresas. Seis empresas privadas y una empresa asignataria.
- › De 2009 a 2019, el número de toneladas de carga transportada ha incrementado 38.6%, pasando de transportar 90.3 millones de toneladas en 2009 a 125.2 millones de toneladas en 2019, lo cual equivale a una tasa de crecimiento anual compuesto de 3.3%.
- › En 2019, el modo ferroviario transportó 12.8% del total de toneladas movidas por los modos aéreo, carretero, ferroviario y marítimo, incrementando 4.0% en su participación en el periodo 1994-2019.
- › Continuando con esta tendencia, se estimaría que para 2050 su participación sería de 18.5%, es decir que incrementaría 5.7%.

Fuente: Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario (2020). Dirección de Estadística Ferroviaria. Anuario Estadístico Ferroviario 2019. Ciudad de México.

- › Se evaluaron metas estimadas por distintos estudios en México que proponen la medida del reparto modal.
- › INECC, considera un cambio en la proporción de las toneladas distribuidas por ferrocarril, aumentando de 10% a 25% en el año 2030, es decir un 15%.
- › En el documento se indica que el porcentaje propuesto representa la proporción potencial de productos que, por sus características, son aptos para ser transportados en ferrocarril, aunque actualmente este desplazamiento se hace por carretera.

Fuente: INECC. (2018). Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas Sectoriales No Condicionadas. Informe final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.

- › El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) realizó un estudio donde identifica que el 40% de la carga puede ser trasladada por ferrocarril.
- › En dicho estudio indica que para alcanzar un cambio modal es necesario un estudio de optimización de cadenas logísticas y del tipo de carga que pueda ser transferido del transporte carretero al ferroviario.

## REPARTO MODAL DEL TRANSPORTE DE CARGA CARRETERO A FERROCARRIL

Fuente: Quintero, E. M., Galeana, Ó. R., Rosales, A. B., Peyrelongue, C. M., & Zamora, R. M. (2014). Reparto modal óptimo del transporte terrestre de carga en México. 1ª etapa (No. 413; p. 106). <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt413.pdf>

- › El escenario de descarbonización propone la proporción de las toneladas distribuidas por ferrocarril, al aumentar 15 por ciento en 2050. Dicho porcentaje representa la proporción potencial estimada por INECC.

Un cambio modal de 15% de las toneladas transportadas ayuda a reducir 16.4 MtonCO<sub>2</sub>e anuales, sin embargo, en el escenario se plantea que esta reducción se logre hasta 2050 dado que su implementación es progresiva durante todo el periodo de análisis.



## PROGRAMA DE PLANEACIÓN URBANA Y SISTEMAS DE TRANSPORTE INTEGRADOS

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el uso de los vehículos particulares fomentando el transporte no motorizado y el transporte público por medio de:

- **La creación de un Programa de planeación urbana y sistemas de transporte integrado (STI) con el objetivo de reducir progresiva de la demanda del uso de motocicletas y carros particulares y promover los viajes en modos sustentables.**
- **Generar la integración de estrategias para lograr el éxito de implementación; por ejemplo, sustituir los camiones ineficientes, generar una tarjeta única de pago entre todos los tipos de vehículos y crear estaciones especializadas que se compartan entre los tipos de transporte público, así como generar una red de transporte público intermodal y eficiente.**
- **Estas estrategias reducen la necesidad y duración de los viajes además de permitir que sean más seguros y accesibles para todo tipo de personas.**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › El propósito de esta medida es reducir los viajes de vehículos particulares de dos y cuatro ruedas; para ello esta acción se compone de dos estrategias principales.
- › La primera sería el desarrollo y ejecución de programas de desarrollo urbano y densificación, con el objetivo de reducir la mancha de asentamientos urbanos y cambiar su configuración de usos de suelo y de densidad.
- › Para esto, se requiere desarrollar e incorporar dentro de los planes de desarrollo urbano municipales criterios clave para la incorporación de nuevo transporte público más eficiente y que se adecuen al contexto nacional y para limitar el crecimiento poblacional en las periferias.
- › Por otro lado, se requiere mejorar el transporte público desarrollando sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT, por sus siglas en inglés) y mejorar el entorno urbano desarrollando infraestructura caminable para el peatón e incrementar la infraestructura de ciclovías.
- › Esta medida requiere un trabajo coordinado pues no depende únicamente de los gobiernos locales y locales sino también involucra a los desarrolladores, al ser los que invierten en la construcción.

Fuente: Medina Ramírez, S., Veloz Rosas, J., & Núñez, R. (2012). Guía de estrategias para la reducción del uso del auto en ciudades mexicanas.

- › Si se aumenta 10% las líneas de transporte público en zonas densas se disminuyen el 1.6% de las emisiones GEI.
- › Si se aumenta la densificación en un área determinada un 10% se podrían generar 0.5 más viajes en bicicleta y se disminuirían las emisiones de CO<sub>2</sub> un 7.4%.

Fuente: Despacio & ITDP. (2015). Modelo para la estimación de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante políticas públicas asociadas al desarrollo urbano (densificación y usos mixtos de suelo). México: ITDP. Disponible en línea: [itdp.mx/modeloDOT](http://itdp.mx/modeloDOT)

- › Dada la falta de proyectos piloto nacionales para esta medida en conjunto, se propuso la meta considerada en las CND de transporte por parte del INECC (INECC, 2018) por lo que se considera un incremento en la densificación urbana del 10%, así como el establecimiento de sistemas de transporte integrado, lo que reduce la distancia

## PROGRAMA DE PLANEACIÓN URBANA Y SISTEMAS DE TRANSPORTE INTEGRADOS

recorrida por vehículo progresivamente, desde 2025, hasta alcanzar un 15% en 2050 a nivel nacional en las zonas metropolitanas seleccionadas; sin embargo, dado que esta medida se propone sea aplicada en las 74 zonas metropolitanas, el ahorro nacional será de 11%.

Fuente: INECC. (2018). Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas Sectoriales No Condicionadas. Informe final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.

Se recomienda, a partir de los datos, hacer análisis de sensibilidad donde se evalúe para cada escenario los impactos ambientales en los que se va a incurrir para poder tener conclusiones más realistas sobre los cambios en GEI.

## SISTEMAS DE BICICLETAS PÚBLICAS

### ESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea sustituir vehículos particulares, tanto automóviles, como camionetas y motocicletas por medio de:

- **En este servicio de bicicletas compartidas la propiedad de la bicicleta es retenida por el proveedor que vende las funciones de la bicicleta, a través de sistemas de distribución, estaciones y pagos.**
- **Las razones para la implementación de un sistema de bicicletas públicas se vinculan principalmente en metas de reducción de la congestión vehicular, incremento del ciclismo, mejoría de la calidad del aire y ofertar a los residentes una opción de movilidad activa.**
- **El ciclismo es un modo de transporte de emisiones casi nulas que ha cobrado impulso durante la pandemia, pero se necesitan más inversiones para mantener una mayor demanda.**

Ofrecer la ventaja de utilizar bicicletas cuando y como sea necesario, sin la responsabilidad o el mantenimiento resultante de la propiedad.



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

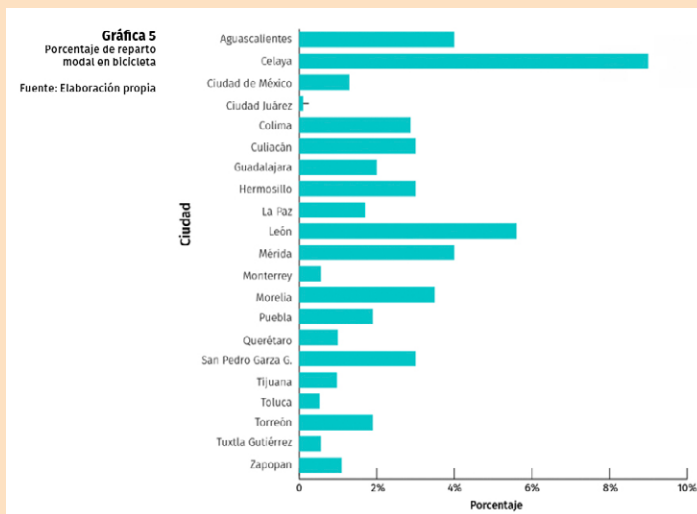
Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › De acuerdo con la Encuesta Ecobici 2017, alrededor de 22% de los usuarios hubiera optado por utilizar automóvil propio, motocicleta, taxi y uber/Cabify si no hubiera la opción de ecobici; En Guadalajara este porcentaje es de 17% en su sistema de MiBici.
- › Para la Ciudad de México, 2.2% de los viajes se realizan en bicicleta, la meta para 2024 es llegar al 3%. Del total de los viajes ciclistas, 11% se realizan con ecoBici.

Fuente: Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México (SEMOVI) [https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/V1\\_ECOBICI\\_LIFT.pdf](https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/V1_ECOBICI_LIFT.pdf)

- › El rango de velocidades en que se puede desempeñar la bicicleta en trayectos cortos es similar a la de los automóviles en las áreas urbanas y superior a la velocidad del transporte público y de los automóviles en zonas congestionadas.
- › Las ciudades de Celaya, Colima, Culiacán, Guadalajara, Hermosillo, León, Mérida y Morelia cuentan con un porcentaje modal en bicicleta superior al 2%. Las ciudades que destacan son Celaya (9%), León (5.6%) y Mérida (4%).
- › 11 ciudades mexicanas cuentan actualmente con sistema de bicicletas compartidas.
- › Actualmente en México se cuentan con 31 ciudades que tienen ciclovías, por lo que se podría aprovechar esta infraestructura.
- › Se toma como referencia el porcentaje promedio de reparto modal en bicicleta de las ciudades de Holanda [https://ralphbu.files.wordpress.com/2018/05/geoagenda\\_2018\\_01-buehler.pdf](https://ralphbu.files.wordpress.com/2018/05/geoagenda_2018_01-buehler.pdf)
- › Este sistema ofrece una forma sencilla de introducir a las personas al ciclismo, pues tal vez lo hayan evitado por la falta de accesos para bicicletas y estacionamiento de estas. En Guadalajara, 59% de los usuarios de MiBici indicó que antes no utilizaba la bicicleta como modo de transporte para sus trayectos diarios. En Ciudad de México ese porcentaje sube a 61%.
- › Esta medida aplica únicamente a las zonas metropolitanas, las cuales son responsables del 78% del consumo de energía de los vehículos particulares.
- › La reducción de viajes particulares a 2050 con la implementación de esta medida sería de 1% a nivel nacional, sin embargo, sus co-beneficios la hacen más atractiva para su inclusión.

## SISTEMAS DE BICICLETAS PÚBLICAS



Fuente: Estimación propia mediante la herramienta MOVES, con datos del INECC. Koupal, J., DenBleyker, A., Fincher, S., Kishan, S., & Garibay-Bravo, V. (2016). Adaptación del Modelo de Emisión Vehicular MOVES para México. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). <https://ftp.erg.com/WebInterface/login.html>

Fuente: Medina, S., & Pérez, A. (2021). Ranking ciclociudades 2020. ITDP México. <https://ciclociudades.s3.us-west-2.amazonaws.com/Ranking2020.pdf>

- Puesto que esta medida se plantea se ejecute únicamente en las zonas metropolitanas, se debe de analizar cuál es su contribución en las emisiones totales nacionales de fuentes móviles.
  - Actualmente hay identificadas 74 zonas metropolitanas conformadas por 401 municipios.
  - En estas ciudades que conforman las zonas metropolitanas residen el 74.2 por ciento del total de la población nacional.
- Fuente: SEDATU & CONAPO. (2018). Sistema Urbano Nacional 2018. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población. <http://www.gob.mx/conapo/documentos/sistema-urbano-nacional-2018>
- Para 2016, las Zonas Metropolitanas representaron el 70% de las emisiones nacionales de fuentes móviles carreteras.

Fuente: SEMARNAT. (2019). Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio 2016 (Documentos del Inventario Nacional de Emisiones). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones>

Al ser una acción propuesta únicamente para las zonas metropolitanas, las cuales son responsables del 70% de las emisiones y al considerar que únicamente 22% de los usuarios hubieran utilizado vehículo privado en el caso de no existir la opción de sistema de bicicletas compartido, la reducción a escala nacional para el modelo se reflejaría de 4%.

Esta medida se tiene planeada sea implementada y fortalecida a partir de la década actual, pero su aplicación para todas las ciudades tendrá un periodo de 25 años, por lo que la reducción de emisiones puede impactar de manera desproporcionada ya que cada ciudad tendrá un impacto de mitigación distinto.

## CAMBIO DE CAMIONES UNITARIOS POR TRACTOCAMIONES

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el consumo total de combustible y el número de vehículos del transporte de carga por medio de:

- **Reemplazar vehículos de carga de menor capacidad por aquellos de gran capacidad para distancias largas y regionales o para puntos de distribución base.**
- **Identificar los vehículos que pueden ser sustituidos.**
- **Realizar pruebas piloto para evaluar la efectividad de la medida en el contexto nacional.**



### supuestos y fuentes de información

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › En Alemania, los camiones de remolque de 40 toneladas necesitan en promedio más del doble de combustible por vehículo kilómetro que los camiones pesados pequeños con un peso bruto de menos de 12 toneladas.
- › Sin embargo, un camión de 40 toneladas tiene una carga útil varias veces mayor (unas 24-26 toneladas vs. 3-5 toneladas). Por lo tanto, por tonelada transportada, un camión remolque grande es aproximadamente 3 veces más eficiente energéticamente que un camión pesado pequeño.

Fuente: Dunnebeil F., Lambrecht U. (2012) Fuel efficiency and emissions of trucks in Germany. An overview. IFEU

- › Barreras para esta medida son aquellas vinculadas a la seguridad vial y a la infraestructura Carretera; así como a las entregar “justo a tiempo” que influyen en la falta de organización para la optimización de las entregas, además de que son perjudiciales para el consumo de combustible.
- › El ahorro directo puede ser superior al 20%, pero los ahorros reales pueden ser inferiores, pues esto depende de la recuperación de la actividad y del cambio modal del ferrocarril.

Fuente: IEA 2017: International Energy Agency: Energy Technology perspectives. 2017 [https://iea.blob.core.windows.net/assets/a6587f9f-e56c-4b1d-96e4\\_5a4da78f12fa/Energy\\_Technology\\_Perspectives\\_2017-PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/a6587f9f-e56c-4b1d-96e4_5a4da78f12fa/Energy_Technology_Perspectives_2017-PDF.pdf)

Para incrementar su efectividad, se propone que se hayan implementado primero las medidas relacionadas a estas categorías de vehículos que se encuentren en el grupo de Evitar, como el incremento en el factor de carga y la cooperación entre empresas.

Para esto, se propone que únicamente 10% de los camiones unitarios de recorrido largo en 2050 sean sustituidos por tractocamiones de mayor capacidad, lo que significaría una reducción en kilómetros por vehículos recorridos y en los vehículos totales.

## PROGRAMA DE CHATARRIZACIÓN Y RENOVACIÓN PARA EL TRANSPORTE DE CARGA

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea la reanudación del Programa de modernización y renovación del autotransporte de carga por medio de:

- **Los montos de estímulo serán los mismos establecidos en el Programa anterior correspondiente al periodo 2015 – 2016.**

El programa se enfocará inicialmente en la participación tanto de los pequeños transportistas como de la flota más antigua.



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Se clasificó el total de la flota por tipo de vehículo, combustible y año modelo.
- › Para 2020, 67.5% de la flota es mayor a 10 años.

Fuente: SCT. (2020). Estadística Básica del Autotransporte Federal 2020. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. [www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST\\_BASICA/EST\\_BASICA\\_2019/Estad%C3%ADstica\\_B%C3%A1sica\\_del\\_Autotransporte\\_Federal\\_2020.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_BASICA/EST_BASICA_2019/Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica_del_Autotransporte_Federal_2020.pdf)

- › Se utilizó como referencia el tope anual de 6 mil unidades a destruir a través del programa.
- › Se sustituirán las unidades que tengan más de 10 años de existencia, como anteriormente se planteaba, principalmente los tractocamiones T-3, al ser el tipo de vehículo con mayor número de unidades.

Fuente: SEMARNAT. (2015). Se actualiza el Programa de Renovación de Vehículos de carga y de pasaje del Gobierno Federal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.gob.mx/semarnat/prensa/se-actualiza-programa-de-renovacion-de-vehiculos-de-carga-y-de-pasaje-del-gobierno-federal-4252>

- › Para la estimación del porcentaje de reducción, se consideró un consumo de combustible (l/100 km) para cada uno de los años modelos vigentes.
- › El IMT indicó que el consumo de un tractocamión T3 puede pasar de 60 l/100 km a 74 l/100km (incrementa 23%) en 18 años para el mismo vehículo debido al desgaste acumulado por falta de mantenimiento.
- › Para la sustitución, se plantea iniciar con la sustitución de los vehículos más antiguos puesto que son los más ineficientes en su consumo de energía.

Fuente: Morales, M. Y. R. (2004). Métodos para la renovación de vehículos de autotransporte de servicio pesado (No. 260; p. 78). Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt260.pdf>

- › Para los vehículos y el consumo de los vehículos de reemplazo se utilizó el consumo de un tractocamión promedio de Europa en 2017, el cual consume 32.6 l/100 km.
- › Esto hace que la flota sustituida más antigua consumiría en promedio un estimado de 74 l/100 km pasa a 32.6, lo cual reduce su consumo un 56%.

Fuente: Rexeis, M., Röck, M., & Hausberger, S. (2018). Comparison of Combustible consumption and emissions for representative heavy-duty vehicles in Europe (p. 3). International Council on Clean Transportation. [https://theicct.org/sites/default/files/publications/HDV-EU-Combustible-consumption\\_ICCT-Fact-Sheet\\_08042018\\_vF.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/HDV-EU-Combustible-consumption_ICCT-Fact-Sheet_08042018_vF.pdf)

## BICICLETAS DE CARGA (CARGO BIKES)

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea sustituir camionetas utilizadas para el transporte ligero de mercancías urbanas por medio de:

- **Bicicletas eléctricas que cuentan con compartimentos para transportar carga ligera.**
- **Estos vehículos serán parte de la flota vehicular de las compañías de última milla.**

La eficiencia de las bicicletas cargo eléctricas reduce el uso de combustibles hasta un 94% comparado con una van eléctrica.



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Para México, se identificó que los mayores productos comprados en internet corresponden a artículos de uso e higiene personal, así como artículos para el hogar, donde la mayoría de los productos son cargas ligeras.

Fuente: INEGI. (2021). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2020. Instituto Nacional de Estadística y geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2020/#Documentacion>

- › Se utilizó como referencia lo evaluado por la Unión Europea donde se concluye que el 25% de todas las mercancías podrían ser repartidas por bicicletas cargo y que aproximadamente el 50% de toda la carga ligera podría ser transportada por dichos vehículos en los entornos urbanos.

- › Se identificó que la efectividad de la medida va en correlación con la infraestructura ciclista.

Fuente: Sibilski, L., & Targa, F. (2020). An old solution to new challenges: The rebirth of the cargo bike. World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/transport/old-solution-new-challenges-rebirth-cargo-bike>.

- › Más del 51% de los viajes motorizados que involucran el transporte de mercancías podrían cambiarse a bicicletas.

Fuente: Schliwa G., Armitage R., Aziz S., Evans J., Rhoades J. (2015) Sustainable city logistics - Making cargo cycles viable for urban freight transport

- › Actualmente en México se cuentan con 31 ciudades que tienen ciclovías, por lo que se podría aprovechar esta infraestructura.

Fuente: Medina, S., & Pérez, A. (2021). Ranking ciclociudades 2020. ITDP México. <https://ciclociudades.s3.us-west-2.amazonaws.com/Ranking2020.pdf>

- › Esas ciudades son responsables del 29% de las emisiones en la categoría de camionetas ligeras para uso comercial.

Fuente: Estimación propia mediante la herramienta MOVES, con datos del INECC. Koupal, J., DenBleyker, A., Fincher, S., Kishan, S., & Garibay-Bravo, V. (2016). Adaptación del Modelo de Emisión Vehicular MOVES para México. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). <https://ftp.erg.com/WebInterface/login.html>

## BICICLETAS DE CARGA (CARGO BIKES)

Para este escenario se estimó que, si para estas 31 ciudades metropolitanas, entre las que se incluyen las tres ciudades con más población (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey) donde ya se cuenta con infraestructura ciclista, se incluyeran bicicletas cargo en su transporte ligero de mercancías y transportaran el 50% de la carga urbana con esta tecnología para el 2050, a nivel nacional esta medida sustituirá únicamente el 15% de los vehículos de carga ligera.

El crecimiento de esta medida es progresivo durante 2025–2050, por lo que para corto plazo (2030) 3% de la flota de vehículos ligeros para entrega de mercancías urbanas podría realizarse con bicicletas cargo, esto considerando que los gobiernos locales promuevan su inclusión y se cuente con la tecnología disponible en el país.



## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE BATERÍAS

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el consumo total de combustible generado por los vehículos de motores de combustión interna por medio de:

- **Incrementar la flota en circulación de vehículos eléctricos de batería, tanto para vehículos ligeros como para pesados.**
- **Incentivar su penetración mediante el fortalecimiento de la infraestructura de carga**
- **Continuar disminuyendo el precio de la batería haciéndola más eficiente y alcanzado la paridad de precio contra los vehículos con motor de combustión interna.**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Estos vehículos además de no generar emisiones locales que influyen en la calidad del aire urbana, cuentan con un motor más eficiente. Como se puede observar en la siguiente tabla, aun cuando los vehículos de celdas de combustible tienen mayor rango de autonomía actualmente, los vehículos eléctricos puros son lo que tienen mayor eficiencia (tank-to-wheel).

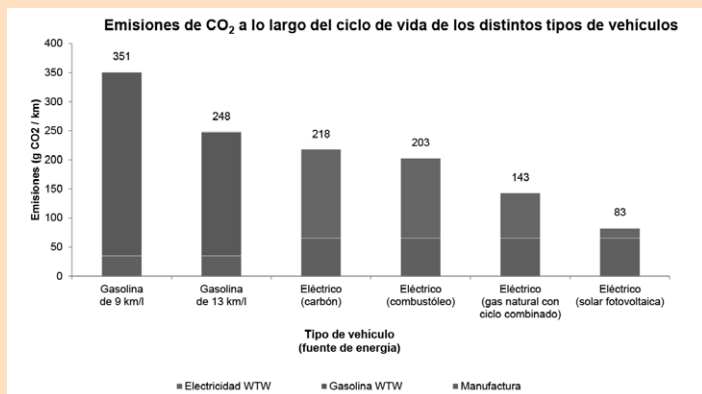
Characteristic	Diesel	LNG & LBG	Fuel cell	Pure battery electric	ERS <sup>2</sup>
Engine and fuels	Diesel engine and fossil diesel, biodiesel, methanol, DME or electrofuels	Otto engine (mostly, diesel engine is possible) and fossil or renewable methane	Electric motor and electricity from fuel cell using hydrogen	Electric motor and electricity stored in battery	Electric motor and direct electricity from grid
Storage	Conventional fuel tank	Cryogenic tank (3 to 10 bar, at -160 °C)	Pressurized tank (700 bar)	Large battery	Small battery
Fuelling/charging point	Conventional filling station	LNG filling station	Hydrogen filling station	Charging station	Electric Road System
Power density	36 MJ/l (fossil diesel)	21 MJ/l	4.6 MJ/l (700 bar)	100 Wh/kg battery	Not Applicable
Achievable range	> 1 000 km	> 1 000 km	> 800 km (today)	< 400 km (today)	Depends on infrastructure
Efficiency tank-to-wheel	≈ 40 %	≈ 40 %	≈ 45 %	≈ 85 %	≈ 85 %
Main challenges	Consumption, pollutant emissions, feed stock availability	Consumption, pollutant emissions, infrastructure, reduced range	Costs, infrastructure, reduced range	Costs, infrastructure, power grid, reduced range	Costs, infrastructure
Pollutant emissions	High, but decreasing with EURO VI	Depending on technology	No local vehicle emissions	No local vehicle emissions	No local vehicle emissions

Fuente: Ifeu. (2021). Background information on the LCA of alternative drive train options

- › Asimismo, se presenta que, aunque la electricidad provenga de fuentes fósiles, las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del vehículo eléctrico son menores comparada con la de un vehículo con MCI.

Fuente: Cabeza F. M. (2017). Promoción de la Electromovilidad Sustentable. Comisión Federal de Electricidad. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1\\_CFE\\_DesarInfRecVE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1_CFE_DesarInfRecVE.pdf)

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE BATERÍAS



Fuente: Cabeza F. M. (2017). Promoción de la Electromovilidad Sustentable. Comisión Federal de Electricidad. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1\\_CFE\\_DesarInfRecVE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1_CFE_DesarInfRecVE.pdf)

› Desde 2016 hasta abril 2021, se han comercializado 1660 carros totalmente eléctricos y 7157 híbridos enchufables.

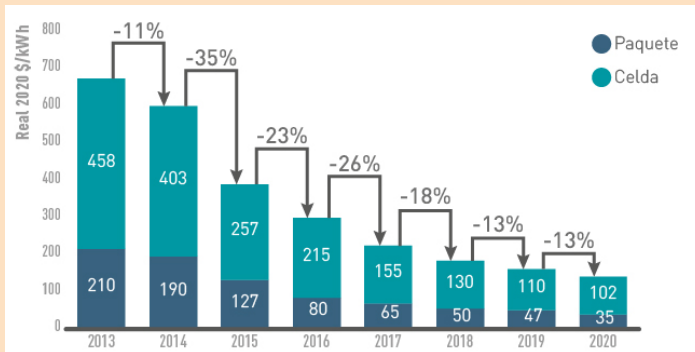
AÑO	VENDIDOS TOTALES	VEHÍCULOS ELÉCTRICOS				% DEL TOTAL
		HEV	PHEV	EV	TOTAL	
2016	1,607,165	7,490	521	254	<b>8,265</b>	0.514
2017	1,534,827	9,349	968	237	<b>10,554</b>	0.687
2018	1,426,926	16,022	1,584	201	<b>17,807</b>	1.248
2019	1,317,727	23,964	1,339	305	<b>25,608</b>	1.943
2020	949,357	21,970	1,986	449	<b>24,405</b>	2.571

Fuente: Datos extraídos de INEGI.

- › Por el otro lado, en el caso de los vehículos pesados, no se han reportado venta de vehículos eléctricos, pues esta es la transición que se presenta para este tipo de vehículos, con el objetivo de ir penetrando el sector con vehículos eléctricos y de celdas de combustible y disminuyendo la participación de MCI e híbridos.
- › Esta falta de vehículos se debe principalmente por la falta de infraestructura, pero también por la poca oferta de mercado de vehículos eléctricos para esta capacidad, ya que tanto el peso de las baterías como la potencia de energía requerida para su recarga influyen para su acelerada inclusión.
- › Los costos implicados a lo largo de la cadena de valor de los vehículos híbridos y eléctricos son 80% y 172% más elevados que para el auto de gasolina, respectivamente, principalmente por el sistema de propulsión más costoso en los vehículos híbridos y los sistemas de baterías en el caso de los eléctricos.
- › Los costos de los autobuses eléctricos son 188% más altos y su producción y comercialización aportan 185% mayor valor agregado que los del autobús a diésel convencional. Un vehículo eléctrico tiene un valor agregado de 76,279 USD, mientras que un diésel solo agrega 25,317 USD. Este crecimiento se planea que irá acompañado de incentivos para promover el vehículo compartido

Fuente: Kveiborg, O., González, U., & Winther, K. (2017). Catálogo de tecnologías seleccionadas del sector autotransporte en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE BATERÍAS



Fuente: BloombergNEF (2020). Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh, Bloomberg. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>

- De acuerdo con estimaciones internacionales, se ha mencionado que el momento para lograr la paridad entre un auto con MCI y un VE ocurrirá cuando el precio de la batería alcance los 100 dólares por kWh.
- La IEA en su último reporte de emisiones cero estimó que esta paridad se alcanzaría durante la década actual.

Fuente: IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

- Dentro de la Estrategia de Movilidad Eléctrica de (SEMARNAT, 2018) se propone que para el 2040 la mitad de las ventas tanto de vehículos ligeros como de pesados de pasajeros en el país será de vehículos híbridos y eléctricos. Para el 2050, el 100% de las ventas de vehículos ligeros y pesados serán eléctricos.
- (INECC, 2018) Desarrolla un escenario donde propone que el 60% de las ventas totales de vehículos corresponderán a nuevas tecnologías en 2030. La proporción de estas ventas serán de 70% de híbridos y 30% de vehículos eléctricos.

Fuente: INECC. (2018). Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas sectoriales no condicionadas (Informe final). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos\\_de\\_las\\_contribuciones\\_nacionalmente\\_determinadas\\_de\\_M\\_xico\\_dobles\\_p\\_ginas\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos_de_las_contribuciones_nacionalmente_determinadas_de_M_xico_dobles_p_ginas_.pdf)

- (Buirra et al., 2021) Indica que las ventas de vehículos eléctricos siguen una rápida curva S, en la que propone que representarán el 19% de las nuevas ventas de vehículos automotores en 2030 y el 85% en 2040.

Fuente: Buirra, D., Tovilla, J., Farbes, J., Jones, R., Haley, B., & Gastelum, D. (2021). A whole-economy Deep Decarbonization Pathway for Mexico. Energy Strategy Reviews, 33, 100578. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100578>

- De acuerdo con los datos de la encuesta MAHOMA del INEGI, el 69% de las personas dijeron que estarían dispuestas a cambiar su vehículo ICE por un híbrido o eléctrico. Sin embargo, el 56% de las personas respondieron que nunca habían comprado un vehículo.
- Considerando a los que compraron un vehículo en el pasado (44%), el 45% respondió que basaron su elección en el precio y el 28% basó su elección en la eficiencia energética. Esto podría implicar que las personas están dispuestas a invertir en un vehículo más ecológico si pudieran permitirse.

Fuente: INEGI. (2017). Encuesta de Hogares y Medio Ambiente (MAHOMA). Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE BATERÍAS

Para este escenario, tomando en consideración las variables de mayor importancia para el crecimiento de las ventas de esta tecnología, se propone que la penetración no será homogénea en todo el país, por lo que se dividen por regiones donde se cuenta con mayor infraestructura de carga, así como donde se concentra el mayor número de ventas actuales.

Asimismo, se tiene proyectado que, durante esta década, en el caso de vehículos ligeros, se alcanzará la paridad de precio entre un vehículo de MCI y un eléctrico, por lo que la variable del precio perderá su peso a partir del 2030, pero tanto los puntos de carga como los incentivos fiscales seguirán siendo fundamentales para su crecimiento exponencial.

El consumo de VEB se tomó de TREMOD y de los modelos actuales del mercado, tomando el vehículo más eficiente como el consumo medio de BEV para 2050. Para FCEV ifeu aumentó el consumo de energía de los BEV en un factor de 1.6 que se deriva de los consumos de energía dados en (Röck et al. 2020).

Para calcular las emisiones futuras, se estimó la proporción de tecnologías alternativas en la flota futura. Para ello, ifeu desarrolló un modelo de flota (incluida en los anexos) que toma en cuenta la flota actual, las nuevas matriculaciones y las tasas de supervivencia de los vehículos. Ifeu se basó principalmente en datos históricos y proyecciones de flotas de INECC que también fueron utilizados en MOVES-México (USAID / INECC 2016b).

El potencial de saturación de VEB se ha estimado sobre la base del kilometraje diario medio por clase de vehículo.

Para ello, ifeu utilizó el kilometraje anual de MOVES-México y asumió un número promedio de días de operación por clase de vehículo. Suponiendo rangos eléctricos típicos entre 250 km para camiones comerciales ligeros y 500 km para camiones de larga distancia, se ha aplicado una distribución normal con una desviación estándar de 35% del kilometraje diario medio.

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE BATERÍAS

Sobre la base de este análisis, se parte del supuesto de que, con excepción de los camiones y autobuses de larga distancia, todas las categorías de vehículos podrían sustituirse totalmente por vehículos eléctricos. Los casos extremos pueden ser cubiertos a largo plazo por opciones de carga rápida a lo largo de las rutas.

Finalmente, las proporciones de ventas consideradas para cada tipo de vehículo fueron las siguientes:

% VENTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE BATERÍAS (VEB)						
CATEGORÍA DE VEHÍCULO	REGIÓN	2030	2035	2040	2045	2050
Motocicletas	ZMs VM, Gdl, Mty		100%			
	Resto del país		50%	100%		
Automóviles pasajeros	ZMs VM, Gdl, Mty		100%			
	Resto del país		50%	100%		
Camionetas de pasajeros	ZMs VM, Gdl, Mty		100%			
	Resto del país		50%	100%		
Camiones ligeros de carga	ZMs VM, Gdl, Mty			100%		
	Resto del país				100%	
Camiones pesados de carga	Nacional					60%
Autobuses urbanos de pasajeros	Nacional				100%	
Autotransporte federal de pasajeros	Nacional				73%	

## VEHÍCULOS HÍBRIDOS

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea el incremento de vehículos híbridos dentro del total de vehículos en circulación por medio de:

- **Continuar con la tendencia de venta de vehículos donde en 2016 representaron únicamente el 0.4% del total de las ventas de vehículos ligeros y para 2020 este valor incrementó a 2.4%, proyectando que para 2030 sea el 7% de las ventas.**
- **Para vehículos pesados se han vendido 1,170 híbridos a nivel nacional en agregado para pasajeros y carga.**
- **A junio de 2021, el número de ventas de vehículos eléctricos es aproximadamente la misma cantidad de vehículos que se vendieron en todo 2020**

La eficiencia de los vehículos híbridos eléctricos reduce el uso de combustibles hasta un 50%.



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se siguieron los siguientes supuestos:

- › Para 2021 hay 46 modelos de vehículos a la venta en México.  
Fuente: Nexu (2021), Autos híbridos que puedes comprar en México en 2021, Nexu, Ciudad de México, <https://www.nexu.mx/blog/autos-hibridos-en-mexico/>
- › Se continúa al alza con las ventas tendenciales de los últimos cuatro años y medio hasta 2030, presentando una disminución a partir de ese año debido a la incorporación de tecnologías más eficientes, como los vehículos eléctricos.
- › Para la estimación del porcentaje de vehículos híbridos se hizo una proyección tendencial del crecimiento de las ventas de los vehículos eléctricos con base a la información publicada en el INEGI.  
Fuente: INEGI. (2021). Venta de vehículos híbridos y eléctricos por entidad federativa [Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>
- › Del mismo modo, se consideró lo planteado por la Agencia Internacional de Energía para su escenario Net Zero por categoría de vehículo y tecnología.  
Fuente: IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, París <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- › Se considera esta medida como opción a corto-mediano plazo debido a que a partir de 2025 aproximadamente 20 compañías de la Industria automotriz han establecido metas tanto de ventas de vehículos eléctricos como incremento en número de modelos disponibles en el mercado.  
Fuente: IEA (2021), Global EV Outlook 2021, IEA, París <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- › Para estimar el consumo de combustible de los vehículos híbridos se propuso que para 2025 el consumo de gasolina sería de 4.8 l/100 km dado que es el consumo actual promedio de los vehículos híbridos más vendidos. Para 2030 su consumo disminuye a 3.61 l/100 km que es el consumo actual promedio de los modelos híbridos más eficientes disponibles actualmente en México.  
Fuente: Nexu (2021). Autos híbridos que puedes comprar en México en 2021, Nexu, Ciudad de México, <https://www.nexu.mx/blog/autos-hibridos-en-mexico/>

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO (FCEV)

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea reducir el consumo total de combustible generado por los vehículos de motores de combustión interna por medio de:

- **Incrementar la flota en circulación de transporte pesado con vehículos de celdas de combustible.**
- **Incentivar su penetración mediante el fortalecimiento de la infraestructura de carga**
- **Continuar fomentando la investigación de la tecnología para los vehículos de distancias largas.**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Estos vehículos no generan emisiones de gases de efecto invernadero por el escape que influyen en la calidad del aire urbana y en el cambio climático ni generan ruido. Al funcionar con hidrógeno emiten solo calor y agua.
- › Estos vehículos funcionan con hidrógeno comprimido en lugar de diésel o gasolina.
- › Puede reducir la dependencia del petróleo importado al ser obtenido de fuentes renovables.
- › Aun cuando sea el hidrógeno producido por fuentes fósiles, sus contaminantes son menores comparados a los emitidos por los escapes de los vehículos convencionales.
- › Su principal diferencia tecnológica comparada con los vehículos de motor de combustión interna es la celda de combustible que convierte el gas de hidrógeno almacenado a bordo con el oxígeno del aire en electricidad para conducir el motor eléctrico que propulsa el vehículo.

Fuente: U.S. Department of Energy (n.d.). Vehículos de célula de combustible <https://www.fueleconomy.gov/feg/esfuelcell.shtml>

- › Uno de sus beneficios comparado con los vehículos eléctricos de baterías es su tiempo de recarga, ya que puede durar hasta menos de 5 minutos en recargarse, su larga autonomía de conducción (>800 km), índices de utilización elevado, altos niveles de potencia y combustibles de gran densidad energética.
- › Actualmente, su disponibilidad se limita a las áreas en donde existen estaciones de servicio que ofrecen hidrógeno para recargar.
- › Otra barrera es el costo actual y la falta de modelos disponibles.

Fuente: MOVE (n.d.) Vehículos eléctricos de hidrógeno, ¿cómo funcionan? Movilidad Eléctrica de Latinoamérica y el Caribe. <https://movelatam.org/vehiculos-electricos-de-hidrogeno-funcionamiento-y-tendencias/>

- › En 2018, Costa Rica publicó un plan de acción interinstitucional para promover el uso del hidrógeno como combustible para el transporte.
- › En Colombia, los objetivos fijados por ley para la venta de autobuses urbanos de cero emisiones (10% de las ventas en 2025 y 100% en 2035) incluyen tanto VEB como FCEV.

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO (FCEV)

- › Desde 2011 circulan en Costa Rica un autobús y cuatro camiones comerciales ligeros alimentados con hidrógeno producido a partir de energía renovable y cuentan con la primera estación de servicio de hidrógeno de América Latina.
- › En su estrategia publicada en 2020, Chile identificó como principales oportunidades la sustitución del hidrógeno de origen fósil en las refinerías del país y nuevas aplicaciones en transporte pesado y de larga distancia.
- › En Brasil, se desarrolló un prototipo de autobús a nivel local con fondos del programa de inversiones obligatorias en I+D promovido por la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) y financiado por las compañías eléctricas.
- › En 2016, el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) de México, en colaboración con la academia, desarrolló y probó un prototipo de FCEV para un pequeño vehículo.

Fuente: IEA (2021), Hydrogen in Latin America, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/hydrogen-in-latin-america>

- › El despliegue de infraestructuras de recarga y una mayor sensibilización de los consumidores pueden contribuir a la aceptación de esta tecnología a largo plazo.
- › Más allá de 2030, los vehículos eléctricos pesados de celda de combustible podrían alcanzar la madurez tecnológica y ofrecer la posibilidad de reducir las emisiones de un sector clave para la región, particularmente el transporte pesado de larga distancia.
- › Para una adopción más rápida se requieren ambiciosos objetivos de los gobiernos, medidas sólidas de apoyo y un despliegue dinámico de la infraestructura necesaria, en particular las estaciones de servicio.
- › Aunque esta medida está planeada en el largo plazo, es fundamental desde este periodo el desarrollo de la regulación, normas e infraestructura para su implementación a gran escala posteriormente.
- › En México no se cuenta con estaciones de carga, por lo que esta tecnología aun no es una opción competitiva para los consumidores.
- › La IEA en su último reporte de emisiones cero estimó que para el 2050 el 31% de las ventas de los vehículos pesados de carga serán de celdas de combustible.

Fuente: IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, París <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

- › Para este escenario, tomando en consideración la falta de maduración de la tecnología y su falta de infraestructura y regulación, se propone únicamente para los vehículos



## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO (FCEV)

pesados de larga distancia, como para los camiones de carga de distancias largas, así como para los autobuses foráneos para pasajeros de distancias mayores a 300 km.

- › De acuerdo con el IMT, la distancia promedio de los autobuses foráneos es de 143 km, sin embargo, en sus estudios estadísticos hay rutas de pasajeros mayores a 800 km, lo que indica que para estas rutas la mejor opción son los FCEV en lugar de los vehículos eléctricos de baterías.

Fuentes: IMT. (2020). Manual Estadístico del Sector Transporte 2019. Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/Manual/mn2019.pdf>

Gutierrez, J. L., & Soria, V. (2014). Estudio estadístico de campo del autotransporte nacional (p. 72). Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt59.pdf>

Asimismo, la tecnología en esta categoría de vehículo está más madura y se encuentra con más estudios piloto que con los vehículos pesados de carga, por lo que su implementación podría estimarse antes.

Finalmente, las proporciones de ventas consideradas para cada tipo de vehículo fueron las siguientes:

% VENTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE (FCEV)						
CATEGORÍA DE VEHÍCULO	REGIÓN	2030	2035	2040	2045	2050
Camiones pesados de carga	Nacional					40%
Autobuses de autotransporte federal pasajeros	Nacional				27%	

## RENOVACIÓN DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS LIGEROS PARTICULARES

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea la renovación de la flota de vehículos ligeros particulares por medio de dos ejes:

- **Generando incentivos para la promoción de vehículos eficientes y compactos.**
- **Mediante la actualización periódica de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013**



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Los taxis corresponden únicamente al 1% de la flota total de los automóviles, sin embargo, su distancia recorrida es de 55,099 km anuales en comparación con los 13 km recorridos por un automóvil particular, es decir un taxi recorre al año lo de cuatro vehículos particulares.
- › Únicamente el 21% de los taxis tienen una edad mayor a 9 años.
- › Para los automóviles particulares es lo opuesto, solo 43% de la flota en circulación son modelos menores a 9 años.
- › Las entidades que cuentan con más vehículos antiguos son principalmente aquellas que están en la frontera norte del país.

*Fuente:* INECC (2018). Elementos de inventario de fuentes móviles: Inventario de emisiones de fuentes móviles carreteras, 2016. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. Ciudad de México.

- › En 2013 se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 que regula las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de vehículos automotores ligeros nuevos.
- › En 2018 se realizó un proyecto de modificación a la NOM-163, aplicable a vehículos año-modelo 2017 a 2025.
- › La actualización de la normatividad representa una significativa contribución en materia de reducción de emisiones de GEI provenientes de los vehículos ligeros nuevos que se incorporan anualmente a la circulación.
- › INECC, considera que, con la actualización de esta norma, el ritmo de innovación de las tecnologías asociadas a mejoras del rendimiento de combustible avanza más rápido que el ritmo esperado con la regulación vigente pues se incorporarán límites establecidos en los estándares estadounidenses.

*Fuente:* INECC. (2018). Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas Sectoriales No Condicionadas. Informe final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.

- › Conuee con el apoyo de la Agencia Francesa de Medio Ambiente y de Gestión de la Energía (ADEME) y Enerdata desarrollaron un escenario de eficiencia energética donde estiman la eficiencia de la flota vehicular hasta 2050, estimando que para ese

## RENOVACIÓN DE LA FLOTA DE VEHÍCULOS LIGEROS PARTICULARES

año los km/l de la flota en circulación corresponderá al consumo de la tecnología más eficiente actualmente.

Fuente: CONUEE. (2018). Forecast tool. Base de Indicadores de Eficiencia Energética. <https://www.biee-conuee.net/previsions/home/>

- › En el escenario planteado, se supone que tanto la actualización de la NOM-163-SE-MARNAT-ENER-SCFI-2013, así como la limitación de los vehículos de segunda mano importados para tener una mayor parte de las nuevas matriculaciones influidas por las normativas nacionales mejorará el rendimiento de combustible de la flota en circulación.
- › Asimismo, se utiliza el método de la CONUEE, el cuál fue utilizado para el Escenario de la Transición Energética Soberana de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios.
- › En este escenario se propone que para 2050 el consumo de combustible del vehículo más eficiente actualmente en el mercado nacional representará para la flota de ese año el rendimiento de combustible promedio.

Fuente: DOF. (2020). Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Diario Oficial de La Federación. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585823&fecha=07/02/2020)

- › Actualmente, el vehículo que presenta el rendimiento de combustible más eficiente recorre 26.2 km/l, por lo que esa será la eficiencia propuesta para la flota en circulación en el 2050.

Fuente: Mitsubishi. (2021). Mirage G4. Mitsubishi Motors MX. <https://www.mitsubishi-motors.mx/modelos/mirage-g4>

- › Para la renovación de taxis, los programas subnacionales, como el actual Programa de sustitución de taxis de la Ciudad de México, incentivan y promueven la renovación de la flota.

Fuente: NAFIN. (2021). Sustitución de Taxis Ciudad de México. Nacional Financiera. [https://www.nafin.com/portalfn/content/financiamiento/taxis\\_cdmx.html](https://www.nafin.com/portalfn/content/financiamiento/taxis_cdmx.html)

## CURSOS DE CONDUCCIÓN TÉCNICOS-ECONÓMICOS (ECO-DRIVING)

### DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA

La medida plantea capacitar a los operadores mediante cursos de capacitación enfocados en la eficiencia de combustible por medio de:

- **Programas de capacitación periódicos.**
- **Con cursos enfocados en aumentar la conciencia vial de los conductores y cómo su estilo de conducción puede afectar la eficiencia y la seguridad del vehículo sin aumentar los tiempos de viaje.**

Dando soporte a los operadores a identificar hábitos de manejo que desperdician combustible.



### SUPUESTOS Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la estimación de beneficios derivados de la implementación de la medida se consideraron los siguientes supuestos:

- › Se evaluaron ahorros de combustible al implementar esta medida en distintos países.
- › En los cursos de conducción ecológica ofrecidos a conductores profesionales por parte de la Unión Internacional de Transporte Carretero (IRU). De acuerdo con sus estimaciones, esta medida puede incrementar la eficiencia de combustible hasta un 15%.
- › En una capacitación que duró entre 14 a 15 meses en Polonia y Rumanía, la reducción media del consumo de combustible en los viajes que se realizaron dentro de la capacitación (donde abarcaron todo tipo de circunstancias viales) fue de 12.24% y 9.24%, respectivamente.
- › Un estudio de la Comisión Europea estima que un curso de un día al año, para operadores mejorará el consumo de combustible en un 5%.

Fuente: ITF (2018) "Towards Road Freight Decarbonisation Trends Measures and Policies", ITF Policy Papers, OECD Publishing, Paris.

- › Asimismo, se utilizó como referencia lo evaluado por la SEMARNAT en su Programa de Transporte Limpio, con datos de julio de 2021.
- › Actualmente, la SEMARNAT ha reportado que se han capacitado 596 empresas, que corresponden a 78,742 vehículos evaluados.
- › Se ha estimado un ahorro promedio de combustible del 15%.

Fuente: SEMARNAT. (2021). Programa Transporte Limpio. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-transporte-limpio-19023>

- › Para este escenario, se estimó un ahorro del 15% en el consumo de combustible en la flota de vehículos, el cual es un rango mínimo entre los ahorros evaluados tanto a nivel nacional como a internacional.
- › Para alcanzar este ahorro a nivel nacional y proponer que un 60% de la flota en circulación en 2050 cuente con el aprendizaje, se deberían capacitar anualmente alrededor de 43 mil vehículos.

Fuente: Estimaciones propias con datos de la SCT. (2021). Estadística Básica del Autotransporte Federal 2020. Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

# K. Referencias

- AC&A, CENIT, Roberto, A., Juan Pablo, M., Jorge, K., José Enrique, P., Frederic, B., Gabriel, G., Sergio, S., & Irene, de C. (2020). México. *Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040*. CAF. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1569>
- AgênciaBrasil. (2015, junio 29). General. Retrieved noviembre 5, 2021, from Sao Paulo estrena autobuses movidos a hidrógeno: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/es/pesquisa-e-inovacao/noticia/2015-06/sao-paulo-estrena-autobuses-movidos-hidrogeno>
- Agora Verkehrswende. (2017). *Transformando el transporte para asegurar la movilidad del mañana* (p. 100). Agora Verkehrswende.
- Alvarado, V., & Macías, V. (2018). CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO: UNA ACCIÓN PARA REDUCIR CO2 DENTRO DE LA ZMVM. *El Poder del Consumidor*. <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2018/04/corredores-tpe-reduccion-co2-final.pdf>
- AMDA. (2018). Diálogo con la Industria Automotriz 2018–2024. [https://www.amda.mx/wp-content/uploads/asociaciones\\_2018-2024\\_180724.pdf](https://www.amda.mx/wp-content/uploads/asociaciones_2018-2024_180724.pdf)
- AMDA. (2021). Dice AMDA no a la regularización de vehículos de contrabando anunciada por el presidente Andrés Manuel López Obrador. AMDA. <https://www.amda.mx/dice-amda-no-a-la-regularizacion-de-vehiculos-de-contrabando-anunciada-por-el-presidente-andres-manuel-lopez-obrador/>
- ARTF. (2017, agosto). Perspectivas del sector ferroviario ante la apertura energética. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251781/Presentaci\\_n\\_Dr\\_Benjam\\_n\\_Alem\\_n\\_Castilla.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251781/Presentaci_n_Dr_Benjam_n_Alem_n_Castilla.pdf)
- ARTF. (2021). Sistema Nacional de Indicadores Ferroviario 2020. Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559416/Indicadores\\_Ferrovios\\_ARTF\\_2020\\_Final.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/559416/Indicadores_Ferrovios_ARTF_2020_Final.pdf)
- Baranda Sepúlveda, B. (2009, Abril). *Gestión de la Demanda en la Ciudad de México*. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- BBVA. (n.d.). ¿Qué es el 'backhaul'? Volver con el camión lleno es sostenible. BBVA. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-backhaul-volver-con-el-camion-lleno-es-sostenible/>
- BEIS. (2021, December 6). COP26 declaration on accelerating the transition to 100% zero emission cars and vans. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/cop26-declaration-zero-emission-cars-and-vans/cop26-declaration-on-accelerating-the-transition-to-100-zero-emission-cars-and-vans>
- Bongardt, D., Stiller, L., Swart, A., & Wagner, A. (2019, March). iNUA #9: Avoid-Shift-Improve (A-S-I). SUTP. <https://sutp.org/publications/sustainable-urban-transport-avoid-shift-improve-a-s-i-inua-9/>
- Caltrans. (2018). Traffic Operations. Retrieved from High Occupancy Vehicle (HOV) Systems: <https://dot.ca.gov/programs/traffic-operations/hov>
- CANACAR. (2021). Distintivo CANACAR. Retrieved from <https://canacar.com.mx/distintivo-canacar/>
- City of Copenhagen. The Technical and Environmental Administration. (2011). *The city of Copenhagen's Bicycle Strategy 2011–2025*. Copenhagen.
- Climate Watch. (2021). Net-Zero Targets. Climate Watch. Washington, DC: World Resources Institute. <https://www.climatewatchdata.org/net-zero-tracker>
- CONAPO. (2018). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016–2050 y Conciliación Demográfica de México, 1950–2015. <https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/conciliacion-demografica-de-mexico-1950-2015-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>
- CONUEE. (2018). Base de Indicadores de Eficiencia Energética. Indicadores Estatales de Eficiencia Energética. <https://www.biee-conuee.net/datamapper/>
- Delgado, O., Rodríguez, F., & Muncrief, R. (2017). *Fuel efficiency technology in European heavy-duty vehicles: Baseline and potential for the 2020–2030 timeframe*. 76.
- DOF. (2020). Ley General de Cambio Climático. 64.
- DOF. (2021). Acuerdo por el que se instruyen diversas acciones a las dependencias que se indican, en relación a la importación definitiva de vehículos usados. *Diario Oficial de la Federación*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633045&fecha=18/10/2021](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633045&fecha=18/10/2021)
- DoT. (2015). U.S. Department of Transportation. Retrieved from High-Occupancy Vehicle Lanes: <https://www.transportation.gov/mission/health/High-Occupancy-Vehicle-Lanes>

- EPA. (2021). North American SmartWay. Retrieved from Driver Training: <https://www.epa.gov/smartway/north-american-smartway>
- FADEEAC. (2017). *Rango Verde de Entidades Empresarias del Autotransporte de Carga*. Buenos Aires: Federación Argentina.
- Fuel Cell Electric Buses. (2018). Framework. Retrieved noviembre 2021, from Policy: <https://www.fuelcellbuses.eu/category/policy>
- Fuel Cell Electric Buses. (2021). Projects. Retrieved from <https://www.fuelcellbuses.eu/>
- Fundación Carlos Slim. (2021). Capacítate para el empleo. Retrieved from Operación de flotas eficientes: <https://capacitateparaeempleo.org/pages.php?r=.tema&tagID=9700&load=9700&n=0>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2020). *Plan de Reducción de emisiones del sector movilidad en la Ciudad de México*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Gobierno de México, S. de M. A. y R. N. (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional: México*. Versión Actualizada 2020. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/603401/Contribuci\\_n\\_Determinada\\_a\\_nivel\\_Nacional.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/603401/Contribuci_n_Determinada_a_nivel_Nacional.pdf)
- Gutiérrez Grados, M., Martínez, N., & Villarreal, J. (2020). *Making Transport Paris-compatible: A contribution to the debate on electromobility in the automotive sub-sector of Mexico*. Iniciativa Climática de México. <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2020/04/CT-Decarbonization-Transport-Mexico-DIGITAL.pdf>
- ICCT. (2020). Vision 2050: A strategy to decarbonize the global transport sector by mid-century (p. 30). *International Council on Clean Transportation*.
- ICM. (2019). *Panorama de la Movilidad Eléctrica. Una lección para México*. Iniciativa Climática de México.
- IEA. (2017). The Future of Trucks. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks>
- IEA. (2019). The Future of Rail. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>
- IEA. (2020). Tracking Transport 2020. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>
- IEA. (2021a). Global EV Outlook 2021. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- IEA. (2021b). World Energy Outlook 2021. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IMT. (2012). *Movilidad de pasajeros en México: Implicaciones ambientales y económicas*. Instituto Mexicano del Transporte. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt372.pdf>
- IMT. (2020). *Estado del arte de la movilidad eléctrica en México*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt596.pdf>
- INECC. (2018a). *Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas sectoriales no condicionadas* (Informe final). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos\\_de\\_las\\_contribuciones\\_nacionalmente\\_determinadas\\_de\\_M\\_xico\\_dobles\\_p\\_ginas\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos_de_las_contribuciones_nacionalmente_determinadas_de_M_xico_dobles_p_ginas_.pdf)
- INECC. (2018b). *Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de reducción, mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEL), en el sector transporte en México, como insumo para la Sexta Comunicación Nacional de cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/461756/Transporte.pdf>
- INECC, G. de la R. (2015). Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos\\_de\\_las\\_contribuciones\\_nacionalmente\\_determinadas\\_de\\_M\\_xico\\_dobles\\_p\\_ginas\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/330857/Costos_de_las_contribuciones_nacionalmente_determinadas_de_M_xico_dobles_p_ginas_.pdf)
- INEGI. (2018). *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD) 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>
- INEGI. (2020). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/>
- INEGI. (2021a). *Población rural y urbana*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx)
- INEGI. (2021b). *Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>
- INEGI. (2021c). *Vehículos de motor registrados en circulación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/default.html>



- INEGI. (2021d). *Venta de vehículos híbridos y eléctricos por entidad federativa* [Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>
- Islas-Samperio, J. M., Manzini, F., & Grande-Acosta, G. K. (2019). Toward a Low-Carbon Transport Sector in Mexico. *Energies*, 13(1), 84. <https://doi.org/10.3390/en13010084>
- ITF. (2018). *Towards Road Freight Decarbonisation Trends Measures and Policies* (OECD Publishing). *ITF Policy papers*.
- Kin, B., Hopman, M., & Quak, H. (2021). Different Charging Strategies for Electric Vehicle Fleets in Urban Freight Transport. *Sustainability*, 13(23), 13080. <https://doi.org/10.3390/su132313080>
- de la Ciudad de México. (2020, septiembre 29). *Ley de Movilidad de la Ciudad de México*. Ley de Movilidad de la Ciudad de México. Ciudad de México: I Legislatura.
- Martínez Sánchez, R. (2012). *El Teletrabajo como tendencia del mercado laboral*. Quito: Retos II.
- Ministerio de Energía. (2020). *Plataforma de Electricidad*. Retrieved noviembre 2021, from *Buses con Celdas de Combustibles de Hidrógeno*: <https://energia.gob.cl/electromovilidad/transporte-con-hidrogeno/buses-h2>
- MTC. (2019). *Programa Nacional de Capacitación en Conducción Eficiente*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Retrieved from [https://freteverde.sestsenat.org.br/apresentacoes/3.%20ORLANDO%20DAVILA%20-%20Programa%20Nacional%20de%20Capacitaci%C3%B3n%20en%20Conducci%C3%B3n%20Eficiente\\_V.Final.pdf](https://freteverde.sestsenat.org.br/apresentacoes/3.%20ORLANDO%20DAVILA%20-%20Programa%20Nacional%20de%20Capacitaci%C3%B3n%20en%20Conducci%C3%B3n%20Eficiente_V.Final.pdf)
- NRCAN. (2021). *National Resources Canada*. Retrieved noviembre 5, 2021, from *SmartDriver training series*: <https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/transportation-alternative-fuels/greening-freight-programs/smartdriver-training-series/21048#transit>
- NREL. (2021). *Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2020*. Golden: National Renewable Energy Laboratory.
- OECD. (2017). *Review of the Regulation of Freight Transport in Mexico*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264268364-en>
- Pons, J. M. (2016). *Los Sistemas de Bicicleta Pública y la Movilidad Urbana Sostenible. Un Análisis en la Ciudad de La Palma*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles
- Replogle, M., Ríos, R. A., Porter, C., & Tao, W. (2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/16402/estrategias-de-mitigacion-y-metodos-para-la-estimacion-de-las-emisiones-de-gases>
- Ritchie, H. (2020, October 6). *Cars, planes, trains: Where do CO2 emissions from transport come from?* *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>
- Rizet, C., Cruz, C., & Mbacké, M. (2012). *Reducing Freight Transport CO2 Emissions by Increasing the Load Factor*. *Procedia - Social and Behavioural Sciences*, 48, 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.999>
- SCJN. (2021). *Suprema Corte de Justicia de la Nación*. Retrieved noviembre 5, 2021, from *Sistema de Consulta de Ordenamientos*: <https://legislacion.scjn.gob.mx/Buscador/Paginas/Buscar.aspx>
- SCT. (2018, December 22). *Programa Nacional de Infraestructura Carretera 2018-2024*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. <https://www.gob.mx/sct/articulos/programa-nacional-de-infraestructura-carretera-2018-2024-185945?idiom=es>
- SCT. (2019). *Estadística Básica del Autotransporte Federal 2019*. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST\\_BASICA/EST\\_BASICA\\_2019/Estad%C3%ADstica\\_B%C3%A1sica\\_del\\_Autotransporte\\_Federal\\_2019\\_.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_BASICA/EST_BASICA_2019/Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica_del_Autotransporte_Federal_2019_.pdf)
- SCT. (2020). *Principales Estadísticas del Sector Comunicaciones y Transporte 2019*. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Principales-Estadisticas/PESCT\\_2019.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGP/estadistica/Principales-Estadisticas/PESCT_2019.pdf)
- SCT. (2021). *Estadística Básica del Autotransporte Federal 2020*. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. [https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST\\_BASICA/EST\\_BASICA\\_2019/Estad%C3%ADstica\\_B%C3%A1sica\\_del\\_Autotransporte\\_Federal\\_2020.pdf](https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAF/EST_BASICA/EST_BASICA_2019/Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica_del_Autotransporte_Federal_2020.pdf)
- SE. (2021). *Comunicado No. 070 "México participa en el Día del Transporte de la COP26"*. <https://www.gob.mx/se/es/articulos/mexico-participa-en-el-dia-del-transporte-de-la-cop26-287641?idiom=es>
- Secretaría de Movilidad. Gobierno de la Ciudad de México. (2018). *La bicicleta en la Ciudad de México como una herramienta de transporte y trabajo*.
- SEDESOL. (2012). *La expansión de las ciudades 1980-2010*. Secretaría de Desarrollo Social.
- SEMARNAT. (2018). *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica*. Secretaria del Medio Ambiente.
- SEMARNAT. (2021). *Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Diario Oficial de la Federación*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5634786&fecha=08/11/2021](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634786&fecha=08/11/2021)
- SEMARNAT. (2021, julio 5). *Acciones y Programas*. Retrieved from *Programa Transporte Limpio*: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-transporte-limpio-190236>

- SENER. (2020). Sistema de Información Energética. <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=about>
- SLOCAT. (2021). *Tracking Trends in a Time of Change: The Need for Radical Action Towards Sustainable Transport Decarbonisation* (2nd Edition; Transport and Climate Change Global Status Report). [www.tcc-gsr.com](http://www.tcc-gsr.com)
- Transporte Limpio. (2021). *Capacitación a Operadores*. Ciudad de México: SCT.
- Verlinghieri, E., Itova, I., Collingnon, N., & Aldred, R. (2021). *The Promise of Low Carbon Freight Benefits of cargo bikes in London. Possible*. <https://smarttransportpub.blob.core.windows.net/web/1/root/the-promise-of-low-carbon-freight.pdf>
- Wappelhorst, S., & Rodriguez, F. (2021, August 26). *Global overview of government targets for phasing out internal combustion engine medium and heavy trucks*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/blog/staff/global-targets-ice-hdvs-aug21>
- Wisniewski, M. (2019, Julio 8). Chicago Tribune.





**ACCIONES CLAVE**  
PARA DETONAR  
LA **TRANSICIÓN**  
DEL TRANSPORTE  
DE CARGA EN  
**MÉXICO** / MMXXI