

# **EMISIONES DE $CO_2$ EN EL AUTOTRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE EN MÉXICO: ANÁLISIS Y ESTRATEGIAS**

*CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN MEXICO FREIGHT TRANSPORTATION:  
ANALYSIS AND STRATEGIES*

***Karla Vianey Villalobos Martínez***

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México  
*M2203047@itcelaya.edu.mx*

***Vicente Figueroa Fernández***

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México  
*vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx*

***Manuel Darío Hernández Ripalda***

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México  
*dario.hernandez@itcelaya.edu.mx*

***José Alfredo Jiménez García***

Tecnológico Nacional de México/ IT de Celaya, México  
*josealfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx*

**Recepción:** 24/noviembre/2024

**Aceptación:** 6/febrero/2025

## **Resumen**

El autotransporte de mercancías terrestre es una de las principales fuentes de emisión de  $CO_2$ , contribuyendo significativamente al efecto invernadero y al cambio climático. En este estudio de enfoque cualitativo, se emplea la metodología de análisis documental y bibliométrico para recolectar y analizar información relevante sobre el impacto ambiental del transporte de mercancías y las estrategias para mitigar sus efectos. La revisión incluye libros, artículos académicos, revistas especializadas y documentos oficiales.

Las variables de estudio son: el efecto invernadero, las emisiones de  $CO_2$ , el transporte terrestre de mercancías y las estrategias para la reducción de  $CO_2$ . Los resultados evidencian que el sector del autotransporte en México representa aproximadamente el 17.9% de las emisiones totales de  $CO_2$ . Asimismo, se analizan las políticas públicas nacionales e internacionales orientadas a la reducción de

emisiones, tales como el Acuerdo de París, y las tecnologías emergentes como los vehículos eléctricos y el fortalecimiento de la infraestructura ferroviaria.

Este estudio identifica oportunidades para implementar estrategias más eficaces que incluyan la adopción de tecnologías limpias, mejoras en la infraestructura y un fortalecimiento de las políticas públicas locales e internacionales para mitigar el impacto ambiental del autotransporte de mercancías.

**Palabras Clave:** emisiones de  $CO_2$ , Estrategias, Autotransporte de carga

## **Abstract**

*Road freight transportation is one of the main sources of  $CO_2$  emissions, significantly contributing to the greenhouse effect and climate change. In this qualitative study, the methodology of documentary analysis or review was employed to collect and analyze relevant information about the environmental impact of freight transportation and strategies to mitigate its effects. The review includes books, academic articles, specialized journals, and official documents.*

*The main areas of study are the greenhouse effect,  $CO_2$  emissions, road freight transportation, and strategies for  $CO_2$  reduction. The results show that the road transport sector in Mexico accounts for approximately 17.9% of the total  $CO_2$  emissions. Additionally, national and international public policies aimed at emission reduction, such as the Paris Agreement, are examined, along with emerging technologies such as electric vehicles and the strengthening of rail infrastructure.*

*This study identifies opportunities to implement more effective strategies, including the adoption of clean technologies, improvements in infrastructure, and strengthening local and international public policies to mitigate the environmental impact of road freight transportation.*

**Keywords:**  $CO_2$  Emissions, Strategies, Freight transportation

## **1. Introducción**

La luz solar que recibe a diario nuestro planeta debe ser expulsada al exterior en frecuencias más bajas por radiación infrarroja; este proceso permite equilibrar la temperatura ambiental. Sin embargo, dicho equilibrio se ve interrumpido por

diversos gases provenientes de la contaminación, los cuales atrapan esa energía y evitan su liberación. Este fenómeno atmosférico, se le conoce como efecto invernadero, es causado por los siguientes gases: dióxido de carbono ( $CO_2$ ), vapor de agua ( $H_2O$ ), metano ( $CH_4$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), ozono ( $O_3$ ). De acuerdo con datos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) publicados en 2022, estos gases alcanzaron nuevos máximos históricos en el año 2021, siendo el  $CO_2$  el gas más abundante en la atmósfera [OMM, 2022]

En México, el dióxido de carbono representa el 71% de los gases de efecto invernadero (GEI), de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Este gas se genera principalmente por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas), la cual aporta un 64% de las emisiones totales. En 2021, las emisiones nacionales brutas de  $CO_2$  ascendieron a 714 millones de toneladas, colocando a México como el segundo mayor emisor en América Latina, solo detrás de Brasil. Además, según un informe de la OMM, la acumulación de  $CO_2$  en la atmósfera nunca había sido tan rápida; en tan solo dos décadas, su incremento ha superado el 10%.

Los gases de efecto invernadero están generando cambios rápidos y profundos en el clima global, afectando la salud, los ecosistemas y la estabilidad de los recursos naturales. Ante esta problemática, México se comprometió mediante la firma del Acuerdo de París a trabajar para mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los  $2^\circ C$ , idealmente no superando los  $1.5^\circ C$ .

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC, 2007], si las emisiones de GEI continúan al ritmo actual, podrían aumentar entre un 25 y un 90% entre 2000 y 2030.

Para limitar el calentamiento global, se necesitan acciones drásticas, incluyendo la adopción de estrategias que permitan cumplir los compromisos internacionales y superar los desafíos que estos implican.

El objetivo principal de este estudio es analizar las emisiones de  $CO_2$  generadas por el autotransporte de carga terrestre en México. Identificando los factores que contribuyen a su generación y evaluando posibles estrategias para reducir su impacto ambiental.

## **2. Métodos**

La presente investigación es de enfoque cualitativo, utilizando como metodología el análisis documental y bibliométrico. La investigación se basa en una revisión exhaustiva de fuentes como libros, artículos académicos, informes y documentos oficiales [Morales, 2015]. La muestra se compone de fuentes clave como publicaciones científicas, documentos oficiales y estudios de organismos internacionales. La planeación propuesta en esta investigación consta de seis etapas para contar con el soporte de un método que facilite la abstracción científica para determinar causas, problemáticas, consecuencias y alternativas del tema de estudio y se describen a continuación [Martínez-Corona y Palacios-Almón, 2019]:

- Definición del problema: Se identificó la problemática central relacionada con las emisiones de  $CO_2$  del autotransporte de mercancías.
- Revisión documental: Se realizó una recopilación y análisis de información relevante sobre el tema.
- Análisis bibliométrico: Se investigaron las tendencias de investigación científica mediante bases de datos académicas, identificando las publicaciones más relevantes y los autores clave.
- Identificación de variables y muestra: Se definieron las variables del estudio: efecto invernadero,  $CO_2$ , transporte terrestre de mercancías y estrategias de reducción de  $CO_2$ .
- Análisis e interpretación de los resultados: Se evaluaron las relaciones entre las emisiones y su impacto, así como las estrategias y políticas implementadas.
- Conclusiones: Se plantearon propuestas para mitigar las emisiones de  $CO_2$ , mejorando la infraestructura, promoviendo tecnologías limpias y fortaleciendo las políticas públicas.

## **3. Resultados**

Las consecuencias del efecto invernadero ya son una realidad, que se percibe en el aumento de temperatura a nivel global, cambio climático, pérdida en los ecosistemas, sequías, desastres naturales, deshielo de glaciares, enfermedades

cutáneas por radiación y respiratorias, entre otras. Según un informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las concentraciones de gases de efecto invernadero alcanzaron un récord en 2023 y, por tanto, condenan al planeta a mayores repercusiones. En la Figura 1 se presenta que México es responsable en gran medida del resultado de estas estadísticas, pues al año 2022, ocupó los primeros lugares como emisor de GEI: noveno a nivel mundial y segundo en América Latina [Lara, 2024].

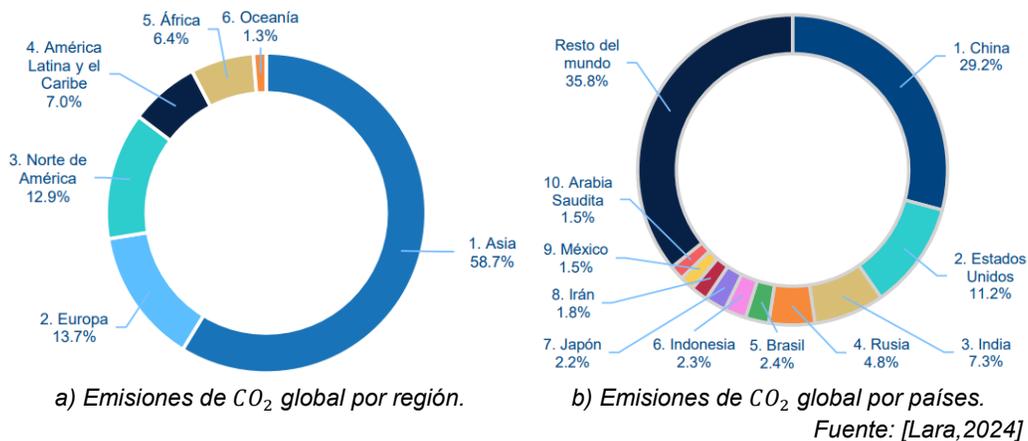


Figura 1 Emisiones de CO<sub>2</sub>.

La emisión de CO<sub>2</sub> es la principal fuente de GEI. En 1990, dichas emisiones en el país fueron de 319.3 de toneladas métricas, antes de la pandemia por COVID-19, en 2019 alcanzaron 520.3 millones y para 2021 llegaron a las 456.3 millones de toneladas métricas. Así, en 2021 México emitió 42.9% más dióxido de carbono que en 1990. El INECC estima que el dióxido de carbono representó 63.9% del total de las emisiones de GEI en México durante 2021. En la Tabla 1 se presentas las principales emisiones de CO<sub>2</sub> se encuentran en las siguientes Entidades Federativas, en donde se advierte que Guanajuato ocupa el séptimo lugar. El Centro de Común de Investigación de la Comisión Europea [JCR, 2023], clasifica las emisiones de GEI dentro de los siguientes sectores:

- Industria energética
- Combustión industrial
- Procesos industriales

- Transporte
- Edificaciones
- Agricultura
- Residuos
- Explotación de combustibles

Tabla 1 Emisiones de  $CO_2$  por entidades federativas.

Estado	Emisiones de $CO_2$ (millones de toneladas)	% del Total Nacional Emisiones de $CO_2$
Ciudad de México	6.5	16
Estado de México	5.3	13
Jalisco	4.1	10
Nuevo León	3.9	9.0
Veracruz	3.5	8.5
Puebla	3.0	7.5
Guanajuato	2.8	7
Chihuahua	2.5	6.0
Baja California	2.4	6.0
Sonora	2.2	5.5
Durango	1.5	3.5
Querétaro	1.3	3
Michoacán	1.1	2.5
Coahuila	1.0	2.5
San Luis Potosí	0.8	2.0
Otros Estados (menos relevantes)	6.9	17
<b>Total, Nacional</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

Fuente: [INECC, 2021]

A su vez, el transporte sigue la siguiente clasificación:

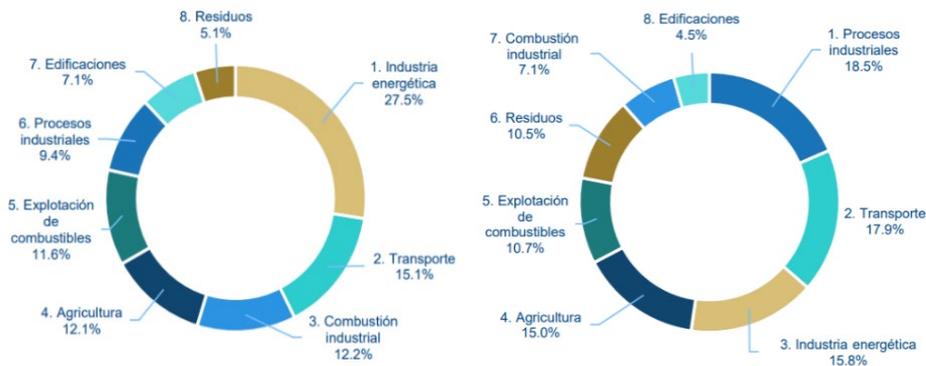
- Transporte por carretera
- Ferroviario
- Aviación nacional
- Marítimo nacional
- Por vías navegables interiores para cada país.

Es en el transporte por carretera donde se ubica además del transporte de pasajeros y de arrastre; al autotransporte de carga, materia de estudio.

En la Figura 2 se presenta durante el año 2022, los tres sectores en México con mayor contribución al cambio climático: procesos industriales (18.5%), transporte

(17.9%) e industria energética (15.8%), aportando en su conjunto el 52.2% de las emisiones del país. Por su parte, a nivel global los primeros sectores fueron: la industria energética (27.5%), el transporte (15.1%) y la combustión industrial (12.2%), sumando estos tres el 54.8% de las emisiones globales de GEI.

Con la segunda posición en ambas estadísticas, el combustible usado para el transporte terrestre es uno de los principales responsables de las emisiones de GEI a nivel mundial y Nacional con el 15.1% mundial y 17.9% nacional; cifra que es inferior en comparación con los principales emisores globales, como China y Estados Unidos, donde el transporte de mercancías representa alrededor del 30% y 29% de las emisiones totales de  $CO_2$ , respectivamente [International Energy Agency [IEA], 2021]; [Environmental Protection Agency [EPA], 2020].



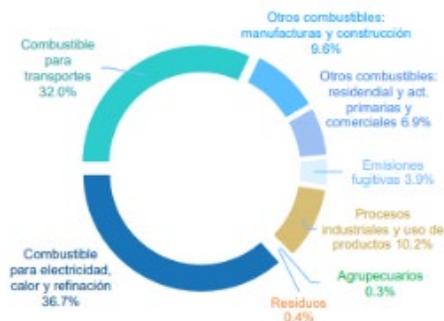
a) Emisiones de  $CO_2$  por en México

b) Emisiones de  $CO_2$  mundial

Fuente: [Lara,2024]

Figura 2 Emisiones de  $CO_2$  por sectores.

En la Figura 3 se presenta las principales fuentes de emisiones brutas de  $CO_2$  en México, la producción de electricidad y calor y la refinación de petróleo como la principal fuente, representando 36.7% del total, siendo el gas natural el principal combustible utilizado, seguido del combustóleo y el carbón natural. Le sigue en importancia los combustibles usados en las actividades de transporte terrestre, aéreo y marítimo que generaron 32% de las emisiones de dióxido de carbono en el año 2021. En la Tabla 2 se presenta los principales combustibles que se utilizan en México siendo el diésel y gasolina con mayor porcentaje, mismos que generan 2.6 y 2.3  $kg$  de  $CO_2$  respectivamente por cada litro [Islas S.H. et al.,2023].



Fuente: [INECC, 2021].

Figura 3 Fuentes de emisiones brutas de CO<sub>2</sub> en México.

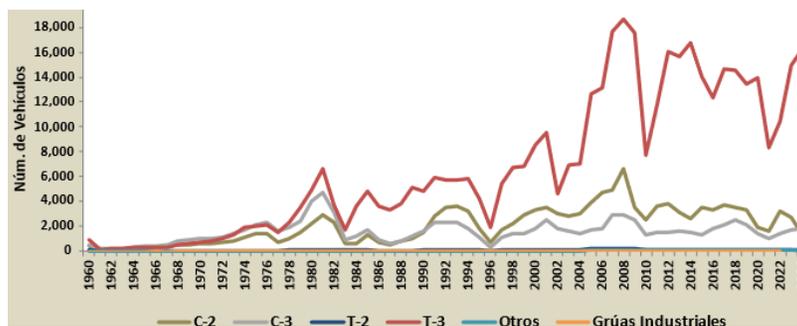
Tabla 2 Combustibles utilizados en México.

Entidad Federativa	Tipo de Combustible					Total
	Diesel	Gasolina	Gas	Gas-Gasolina	Híbrido	
Aguascalientes	11,054	767	342	22	0	12,185
Baja California	14,820	1,056	28	0	0	15,904
Baja California Sur	1,365	75	1	1	0	1,442
Campeche	1,225	69	1	1	0	1,296
Chiapas	4,684	133	46	6	0	4,869
Chihuahua	19,028	291	75	3	0	19,397
Ciudad de México	135,134	24,065	1,795	175	24	161,193
Coahuila	18,271	1,456	125	405	0	20,257
Colima	7,105	483	8	6	0	7,602
Durango	7,530	149	60	17	0	7,756
Estado de México	37,494	5,366	112	38	0	43,010
Guanajuato	40,448	1,511	142	83	22	42,206
Guerrero	5,637	196	30	2	0	5,865
Hidalgo	21,311	955	151	7	0	22,424
Jalisco	48,035	2,222	252	32	1	50,542
Michoacán	15,458	376	75	7	0	15,916
Morelos	5,516	719	20	12	0	6,267
Nayarit	1,216	28	2	1	0	1,247
Nuevo León	67,154	3,851	744	4,547	0	76,296
Oaxaca	3,203	98	14	0	0	3,315
Puebla	18,364	1,134	81	41	0	19,620
Querétaro	15,311	2,055	234	223	0	17,823
Quintana Roo	1,179	112	1	0	0	1,292
San Luis Potosí	13,220	1,095	95	95	0	14,505
Sinaloa	12,062	562	38	2	0	12,664
Sonora	11,557	176	13	4	1	11,751
Tabasco	4,993	237	13	16	0	5,259
Tamaulipas	31,199	3,163	56	83	0	34,501
Tlaxcala	2,709	228	4	3	0	2,944
Veracruz	22,442	845	96	15	0	23,398
Yucatán	5,148	219	28	2	0	5,397
Zacatecas	2,787	69	0	3	0	2,859
<b>Total</b>	<b>606,659</b>	<b>53,761</b>	<b>4,682</b>	<b>5,852</b>	<b>48</b>	<b>671,002</b>

Fuente: [INECC, 2021]

Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGI 2020), el sector transporte terrestre representó la mayor parte de las emisiones del sector, con más del 85% de las emisiones del transporte. De los cuales, los vehículos de pasajeros representan el 55% de las emisiones del transporte terrestre en México, y el 30% corresponde a camiones y transportes de carga. En 2021, las emisiones brutas de GEI de México ascendieron a 714 millones de toneladas de  $CO_2$  equivalente, contribuyendo con 1.4% del total mundial, ubicando al país en segundo lugar en América Latina, solamente superado por Brasil.

Según el Censo de Transporte 2020, en México existían aproximadamente 44.5 millones de vehículos registrados en circulación. De los cuales, aproximadamente el 20% corresponde a vehículos de carga, incluyendo camiones, remolques y otros vehículos destinados al transporte de mercancías. Siendo el tractocamión de tres ejes como principal unidad de transporte de mercancías. Las principales rutas de carga incluyen los corredores transnacionales que conectan México con Estados Unidos, como la Ruta Panamericana y las carreteras de la frontera norte, pero también hay una fuerte infraestructura interna, como las autopistas que conectan grandes centros industriales con puertos y zonas comerciales. Otro dato relacionado intrínsecamente con la emisión de  $CO_2$ , es el modelo de la unidad vehicular, en la Figura 4 se presenta las unidades motrices del autotransporte de carga por año modelo y clase de vehículo por lo que se circulan todavía vehículos muy antiguos. En la Tabla 3 se presenta, el sector de transporte terrestre de carga como uno de los pilares de la economía en México, muchas empresas están inscritas y operan en este campo.



Fuente: [INEGI, 2024]

Figura 4 Modelo y clase de vehículo utilizados en México.

Tabla 3 Número de personas que utilizan el autotransporte en México.

<i>Clase de Servicio</i>	<i>No. de Personas Morales</i>	<i>No. de Personas Físicas</i>	<i>Total</i>
<b>Autotransporte de Carga General</b>	27,163	184,261	<b>211,424</b>
<b>En Guanajuato</b>	1,300	10,011	11,311
<b>Autotransporte de Carga Especializada</b>	6,694	9,406	<b>16,100</b>
<b>Total de Empresas</b>	<b>33,857</b>	<b>193,667</b>	<b>227,524</b>

Fuente: [INEGI, 2024]

El Registro de Empresas de Autotransporte Federal es el principal mecanismo a través del cual las empresas de transporte de carga están legalmente registradas y supervisadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La gestión de las emisiones de  $CO_2$  varía significativamente según las políticas implementadas en cada región. En el caso de México, aunque se ha comenzado a avanzar en la promoción de biocombustibles, el fomento de la infraestructura ferroviaria y la adopción de tecnologías como los vehículos eléctricos, el país sigue enfrentando limitaciones relacionadas con la infraestructura y la transición hacia un transporte de mercancías más sostenible.

Al ser tan alarmantes los datos presentados, el cambio climático ha sido protagonista en la orden del día de distintas agendas públicas en las últimas décadas. A nivel global se han emprendido acciones para revisar el tema, éstas involucran desde acuerdos internacionales hasta políticas nacionales, con énfasis en la transición hacia una economía baja en carbono, el fomento de la movilidad eléctrica y la protección de los ecosistemas naturales, además involucran acciones energéticas, sociales, entre las que destacan:

Invariablemente se tiene que citar el [Acuerdo de París, 2015], al cual México está suscrito junto con otros países, en donde se promueve la movilización de financiamiento para los países en desarrollo para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus efectos, mediante contribuciones Nacionalmente determinadas (NDCs), que especifican los compromisos de cada nación para reducir las emisiones de GEI. Con el objetivo de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con esfuerzos para limitarlo a  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en comparación con los niveles preindustriales. México ha ratificado el Acuerdo de París y ha establecido un compromiso de reducción de emisiones del 22% para 2030 con respecto a los

niveles de 2013, y de hasta 36% con apoyo internacional. México participa en fondos globales para el financiamiento de proyectos de mitigación y adaptación, como el Fondo Verde Climático.

En el ámbito Nacional, México se comprometió a reducir sus emisiones de GEI en un 22% para 2030, en comparación con los niveles de 2013 y a promover el uso de energías renovables, por lo que promulgó una (Ley de Transición Energética, 2015). También ha implementado diversas políticas para reducir las emisiones del sector transporte, como el Programa de Modernización del Transporte Urbano y la Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2006, ha incentivado fiscalmente, e incluso otorgado subsidio para promover vehículos eléctricos y la instalación de infraestructura de recarga están en marcha en diversas ciudades. México ha implementado programas para reducir la deforestación y por contrario promover la reforestación para proteger y restaurar ecosistemas naturales. A nivel global, muchos países están invirtiendo masivamente en energías renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa. La transición hacia una matriz energética limpia es una de las estrategias más efectivas para reducir las emisiones de  $CO_2$ . Algunos países están investigando y desarrollando tecnologías para capturar y almacenar  $CO_2$  directamente desde el aire o en fuentes industriales. Muchas naciones están implementando normativas más estrictas para la eficiencia energética en la construcción de edificios y en la industria, reduciendo el consumo de energía y, por ende, las emisiones de  $CO_2$ . Los países han adoptado estándares de emisiones más estrictos para vehículos, promoviendo la fabricación de autos más eficientes y la adopción de vehículos híbridos y eléctricos. Países como China y Estados Unidos han implementado políticas más robustas para reducir las emisiones en el sector del transporte. China, por ejemplo, ha desplegado una serie de incentivos para promover los vehículos eléctricos y establecer estándares más estrictos de eficiencia en los vehículos comerciales [IEA, 2021]. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha establecido normativas para la reducción progresiva de las emisiones en el sector del transporte, con una fuerte inversión en investigación y desarrollo de tecnologías limpias. Por lo que, la Unión Europea ha fijado objetivos aún más ambiciosos bajo el marco del Pacto Verde

Europeo, con la meta de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 55% para 2030, lo que implica un enfoque integral que promueve la movilidad multimodal, el comercio de emisiones y la transición hacia fuentes de energía renovables [European Commission, 2020]. En la Tabla 4 se presenta una comparación de estrategias para la reducción de emisiones de  $CO_2$ .

Combatir el cambio climático y el efecto invernadero con energía verde es una de las estrategias más efectivas y necesarias para mitigar los impactos del calentamiento global. La transición hacia fuentes de energía renovables no solo ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino que también promueve la sostenibilidad económica, social y ambiental a largo plazo.

Tabla 4 Comparación de estrategias para la reducción de emisiones de  $CO_2$ .

Aspecto	México	China	Estados Unidos	Unión Europea
<i>Emisiones de <math>CO_2</math> en el transporte</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20% de las emisiones nacionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30% de las emisiones globales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 29% de las emisiones totales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 27% de las emisiones totales.</li> </ul>
<i>Estrategias de reducción</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biocombustibles.</li> <li>• Fomento del uso en el transporte.</li> <li>• Infraestructura ferroviaria.</li> <li>• Inversiones crecientes.</li> <li>• Vehículos eléctricos.</li> <li>• Incentivos fiscales.</li> <li>• Políticas de sostenibilidad.</li> <li>• Desarrollo de planes de movilidad.</li> <li>• Programas para reducir el uso de automóviles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vehículos eléctricos.</li> <li>• Subsidios para adopción.</li> <li>• Estándares de emisiones.</li> <li>• Regulaciones estrictas.</li> <li>• Infraestructura de carga.</li> <li>• Expansión en todo el país.</li> <li>• Investigación.</li> <li>• Innovaciones en vehículos autónomos.</li> <li>• Incentivos fiscales.</li> <li>• Apoyo a la industria limpia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captura de carbono.</li> <li>• Iniciativas en plantas de energía.</li> <li>• Estándares de eficiencia.</li> <li>• Regulaciones para vehículos.</li> <li>• Movilidad sostenible.</li> <li>• Impulso a tecnologías limpias.</li> <li>• Infraestructura de carga.</li> <li>• Desarrollo para vehículos eléctricos.</li> <li>• Iniciativas estatales.</li> <li>• Diversidad en enfoques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pacto Verde.</li> <li>• Meta de reducción del 55% para 2030.</li> <li>• Comercio de emisiones.</li> <li>• Regulaciones específicas.</li> <li>• Fondos climáticos.</li> <li>• Financiamiento para transición.</li> <li>• Ajuste de carbono.</li> <li>• Políticas para importaciones</li> <li>• Transporte multimodal.</li> <li>• Fomento a alternativas.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

La energía verde hace referencia a las fuentes de energía renovables que tienen un bajo impacto ambiental y que se obtienen de recursos naturales que se regeneran de manera continua. La principal ventaja de la energía verde es que, a diferencia de las fuentes fósiles, la generación de electricidad mediante fuentes renovables no emite  $CO_2$  ni otros gases de efecto invernadero (como metano u óxidos de nitrógeno). Por ejemplo, la energía solar y eólica tienen unas emisiones netas

cercanas a cero durante su ciclo de vida operativo. La descarbonización de la producción de energía a partir de fuentes renovables es clave para alcanzar los objetivos climáticos globales establecidos en el Acuerdo de París, que buscan mantener el calentamiento global por debajo de los 2 °C, idealmente a 1.5 °C.

La transición hacia una economía verde impulsa el desarrollo de nuevas tecnologías y modelos de negocio en torno a la eficiencia energética, las infraestructuras sostenibles y las soluciones de almacenamiento energético. La investigación y el desarrollo en estos campos pueden abrir nuevas oportunidades para empresas y países, promoviendo la innovación tecnológica a nivel global.

A medida que las tecnologías de energía renovable mejoran y las economías de escala reducen los costos de producción, la energía verde se vuelve más competitiva frente a los combustibles fósiles. El costo de la energía solar y eólica ha disminuido considerablemente en los últimos años, lo que hace que estas fuentes sean más accesibles a nivel mundial.

La energía renovable no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), el óxido de nitrógeno ( $NO_x$ ) y las partículas en suspensión, que son nocivos para la salud humana. La transición hacia energías limpias mejora la calidad del aire, reduciendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

A diferencia de la minería de carbón o la extracción de petróleo, las energías renovables no agotan recursos naturales y son más respetuosas con los ecosistemas. Además, muchas tecnologías de energía renovable, como la solar o la eólica, requieren menos tierra y agua que las fuentes de energía convencionales, lo que ayuda a preservar el medio ambiente.

#### **4. Discusión**

Los resultados obtenidos, muestran la magnitud del impacto del transporte terrestre en el cambio climático tanto a nivel global como en el contexto específico de México. A pesar de algunos avances hacia la electrificación y la mejora de la eficiencia del transporte, el sector sigue siendo una de las áreas más críticas para reducir las emisiones de GEI en el futuro.

La energía verde es una de las principales soluciones para combatir el cambio climático y mitigar el efecto invernadero. Al reducir las emisiones de  $CO_2$ , la dependencia de los combustibles fósiles y promover la sostenibilidad a nivel global, la energía renovable puede ser un factor decisivo para limitar el calentamiento global y prevenir sus peores efectos. Aunque todavía existen desafíos, como la dependencia a factores meteorológicos, grandes inversiones, regulación de políticas públicas y la sensibilización social; la aceleración de la transición hacia fuentes de energía limpia es clave para alcanzar un futuro más saludable, sostenible y resiliente para las generaciones futuras.

Si en el año de la pandemia se lograron disminuciones de los GEI, significa que sí es posible alcanzarlos; se debe mantener esa baja como constante desde una sociedad productiva. Para ello es fundamental migrar social, política y económicamente hacia una consciencia y sensibilización mayor sobre el problema. Como se revisó en este trabajo, las consecuencias de los efectos de emisión de  $CO_2$ , merman el estado de salud y alteran el estado de vida de las personas. Si permanece el patrón de indiferencia, será necesario imponer políticas más severas a particulares y a las industrias para el correcto apego e implementación de tecnologías limpias, iniciativas de eficiencia energética. Las políticas de transporte sostenible podrían modificar la constante de emisiones, mediante la implementación de vehículos eléctricos o combustibles alternativos.

El análisis de los planes actuales para reducir las emisiones de tales gases en 2030, señalan que sólo se logrará rebajarlas un 2.6% por debajo de los niveles de 2019, quedándose muy cortos del 43% de reducción que se necesita para mitigar el problema del aumento de la temperatura global. Los boletines de octubre 2024 demuestran que las concentraciones de gases de efecto invernadero alcanzaron un récord en 2023 y, por tanto, condenan el planeta a muchos años de aumento de las temperaturas, nunca en la historia de la humanidad la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera había sido tan rápida: en solo dos decenios, el aumento supera el 10% según un informe de la OMM. Estos datos denotan que se necesitan medidas urgentes y no solo compromisos, en próximos días se avecina la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en medio de las

reiteradas advertencias del Secretario General de las Naciones Unidas y otras agencias de la ONU sobre el coste humano de ignorar esta crisis existencial, por lo que habrá que esperar para conocer las nuevas vertientes, giros o medidas que se tomen para conseguir contrarrestar el daño ambiental y frenar las catástrofes que se avecinan. El Boletín de Gases de Efecto Invernadero 2024 de la OMM ofrece un duro recordatorio científico de la necesidad de frenar el aumento de niveles de  $CO_2$ . El Informe de Síntesis de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN) para 2024 de la Secretaría de la ONU para el Cambio Climático (CMNUCC), mostró que los planes actuales darían lugar a emisiones de 51.5 *gigatoneladas* de  $CO_2$  equivalente para 2030, sólo un 2.6% por debajo de los niveles de 2019. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala que las emisiones deben reducirse en un 43% respecto a los niveles de 2019.

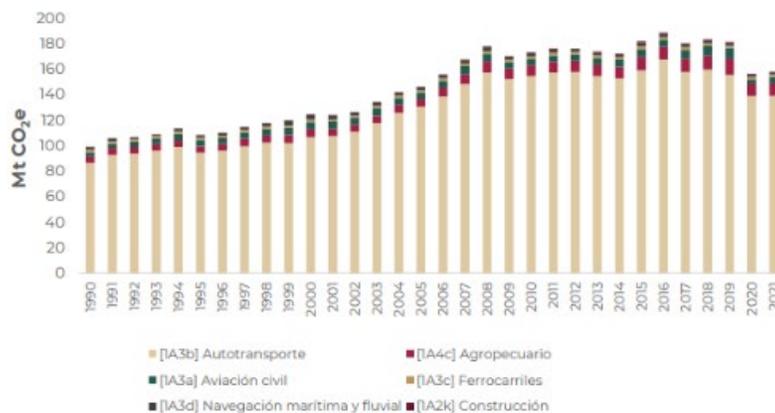
Disminuir las emisiones de  $CO_2$  implica tomar acciones para reducir la quema de combustibles, ello a fin de obtener energía de fuentes menos contaminantes. Entre las principales alternativas se encuentran la energía eólica y la solar fotovoltaica, así como la transición hacia equipos eléctricos de autotransporte. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA), deduciendo los efectos de la pandemia aún presentes en 2022, la puesta en marcha de este tipo de tecnologías logró evitar, a nivel global, la emisión de 465 *millones de toneladas* de  $CO_2$  en ese año [IEA, 2023]. Sin embargo, la IEA indica también que México se encuentra aún con rezagos en términos de transición energética, en especial cuando se compara con el resto de los países de América Latina. Bajo las políticas actuales, la participación de los combustibles fósiles en la generación de energía permanece constante en términos absolutos hacia el año 2050, mientras que la contribución de fuentes renovables ayuda a absorber el impacto en el aumento de la demanda energética proyectado para los próximos 25 años, con lo cual México se aleja de sus compromisos de reducción de emisiones anunciados [IEA, 2023].

## **5. Conclusiones**

En 2021, las emisiones brutas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de México ascendieron a 714 *millones de toneladas* de  $CO_2$  equivalente, contribuyendo con

1.4% del total mundial, ubicando al país en segundo lugar en América Latina, solamente superado por Brasil. En solo veinte años, las concentraciones de  $CO_2$  han aumentado un 11.4%. Las concentraciones de gases de efecto invernadero alcanzaron un récord en 2023 y, por tanto, condenan el planeta a muchos años de aumento de las temperaturas, según un informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Nunca en la historia de la humanidad la acumulación de  $CO_2$  en la atmósfera había sido tan rápida: en solo dos decenios, el aumento supera el 10%. Las actividades del sector del transporte es el que más contribuye a las emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI) con una contribución de 22% de las emisiones nacionales. De 1990 a 2021 las emisiones de este sector han tenido una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) de 1.5%, sin embargo, la TCMA de 1990 a 2019 es de 2.1%, esto es debido a que entre 2019 y 2021 hubo una reducción del 13% en las emisiones, el cual podría deberse principalmente a los efectos de la pandemia de COVID 19.

Aunque las emisiones de este sector han tenido un comportamiento histórico al alza, en la Figura 5 se presenta la tasa de crecimiento en los últimos años como se ha ido desacelerando, comparando el crecimiento de 2010 a 2019 se observa un crecimiento medio anual de sólo 0.5%.



Fuente: [INEGYCEI, 2021]

Figura 5 Emisiones históricas del sector transporte en México.

Para cumplir con su compromiso actual bajo el Acuerdo de París, México se ha comprometido a una reducción no condicionada de gases de efecto invernadero

(GEI) de 35% para 2030 con respecto de su línea base, 30% con recursos nacionales y 5% con cooperación y financiamiento internacional previsto para energías limpias. México es un actor clave reconocido por la comunidad internacional en la lucha contra el cambio climático, fue el primer país en desarrollo en contar con una Ley General de Cambio Climático que reconoce la corresponsabilidad del sector público y de la sociedad para actuar frente a este fenómeno global, esta legislación desarrolla el derecho a un medio ambiente sano como un derecho humano, reconocido por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. México es un estado parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Protocolo de Kioto y más recientemente del Acuerdo de París. Para la implementación de este último, en 2015 México fue el primer país en desarrollo en incluir un componente de Adaptación en su Contribución Nacional Determinada (NDC) y en proponer compromisos condicionados y no condicionados para la Mitigación, así como para la Adaptación. En 2020, México reafirma su compromiso de reducir 22% de GEI y 51% de Carbono Negro (CN) de manera no condicionada, que se podría aumentar hasta un 36% de GEI y 70% de CN de manera condicionada a la transferencia de tecnología y financiamiento entre otros requisitos y condiciones; para aumentar la ambición en los ocho sectores que contribuyen a la reducción de emisiones: Transporte, Generación de Energía Eléctrica, Petróleo y Gas, Residuos, Industria, Residencial y Comercial, Agricultura y Ganadería y Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS).

Los desafíos crecen, pues se espera que la flota vehicular siga en aumento, por lo que urgen políticas públicas que promuevan energías verdes y la transición hacia una movilidad más sostenible; incentivar la adopción de vehículos eléctricos, incluyendo subsidios, incentivos fiscales y el desarrollo de infraestructura de recarga. Por otro lado, México sigue teniendo una alta dependencia del transporte por carretera, que representa más del 75% del total de las mercancías movilizadas, lo que limita la efectividad de las políticas de transporte verde y aumenta la dificultad para promover alternativas sostenibles [SEMARNAT, 2020]. Aunque existen esfuerzos para diversificar el transporte hacia el ferrocarril y promover el uso de

energías limpias, las inversiones en infraestructura y en la adopción de nuevas tecnologías siguen siendo insuficientes para cumplir con los estándares internacionales de sostenibilidad.

Absoluta es la necesidad de sensibilizar a todo el tejido social para impulsar todas las acciones necesarias para trabajar en la detención de la autodestrucción del ecosistema en el que la humanidad se desarrolla; por lo que al sistema de autotransporte de carga se refiere, urge descarbonizar el sistema energético, en donde el principal vector para lograrlo es la electricidad y uso de energías verdes como las que se describieron dentro de esta investigación. Es necesario establecer políticas públicas que incentiven el crecimiento de electricidad solar y eólica y para ello se requiere la inversión para infraestructura de transmisión, distribución y almacenamiento de nuevos modelos energéticos.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Anuario Climático. (2022). Empresas por el cero neto y la acción transformadora. Pacto Mundial. <https://www.pactomundial.org/biblioteca/anuario-2022-accion-climatica-empresarial/>.
- [2] Cernat, A., Pană, C., Negurescu, N., Lăzăroiu, G., Nuțu, C., & Fuiorecu, D. (2020). Hydrogen—An alternative fuel for automotive diesel engines used in transportation. *Sustainability*, 12(22), 9321. <https://doi.org/10.3390/su12229321>
- [3] European Parliament (2018). The role of the European Parliament in the EU decision-making process. [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180301STO98928/20180301STO98928\\_es.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/3/story/20180301STO98928/20180301STO98928_es.pdf).
- [4] Ferrón-Vílchez, V., Aragón-Correa, J. A., & Vidal Salazar, M. D. (2011). La Internalización De Los Costes Medioambientales En El Transporte De Mercancías Por Carretera (Internalizing Environmental Costs on the Road Freight Transport Industry). *Cuadernos de gestión*, 11, 117-140. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/13912>.
- [5] Gabriel, M. J. L. (2019). Alternativas para la mitigación del CO2 asociado al transporte terrestre logístico: Una revisión. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/13912>.

- [6] Global Carbon Project (2022). Global Carbon Budget 2022. Global Carbon Project. Agencia Internacional de Energía (IEA), World Energy Outlook 2023.
- [7] Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (2020). INEGI.
- [8] Islas, S. H., Varillas, L. Á. C., Amador, N. Y. M., Guillén, R. P., & Sánchez, A. P. (2023). De indios verdes a indios grises; estimación de emisiones adicionales de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) debido al tránsito ocasionado por la obstrucción de la vialidad en CETRAM Indios Verdes, en el norte de CDMX: From green Indians to gray Indians; estimation of additional carbon dioxide ( $CO_2$ ) emissions due to traffic caused by the obstruction of the road at CETRAM Indios Verdes, in the north of CDMX. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(3), 59. pag 832
- [9] Martínez-Corona, J.I. y Palacios-Almón, G.E. (2019). Análisis de la Gestión para Resultados en el Marco de la Sociedad del Conocimiento. *Revista Atenas*, 3(47), 180 – 197.
- [10] Morales, O. (2015). Fundamentos de la investigación documental y la monografía. En *Introducción a los métodos y técnicas de investigación. Selección de lecturas*. Cuba: Editorial Universitaria Félix Varela.
- [11] Mundial, B. (2022). La transición de China hacia una economía de bajo nivel de emisión de carbono y resiliente frente al cambio climático requiere cambios en los recursos y las tecnologías utilizados. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2022/10/12/china-s-transition-to-a-low-carbon-economy-and-climate-resilience-needs-shifts-in-resources-and-technologies>.
- [12] Organización Meteorológica Mundial. (2015). Los gases de efecto invernadero alcanzan niveles récord - La OMM pone de relieve las preocupaciones acerca del calentamiento de la tierra y las emisiones de metano. <https://public-old.wmo.int/es/media/press-release/n%C2%BA-903-los-gases-de-efecto-invernadero-alcanzan-niveles-r%C3%A9cord-la-omm-pone-de>.
- [13] Parlamento Europeo. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector Infografía. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines>

/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20es%20responsable%20del,con%20un%203%2C32%25.

- [14] Statista. (2023). Principales países emisores de gases de efecto invernadero en el mundo en 2022. <https://es.statista.com/estadisticas/711610/ranking-mundial-de-los-principales-paises-emisores-de-gases-de-efecto-invernadero/#:~:text=China%20acapar%C3%B3%20por%20s%C3%AD%20so%20la,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>.
- [15] US EPA. (2023). Emisiones de dióxido de carbono. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono#:~:text=La%20principal%20actividad%20del%20ser,tierra%20tambi%C3%A9n%20emiten%20CO2>.
- [16] Vanessa. (2023). ¿Qué países son los mayores contaminadores de carbono del mundo? ClimateTrade. <https://climatetrade.com/es/que-paises-son-los-mayores-contaminadores-de-carbono-del-mundo/#:~:text=Rusia%2C%20con%201.711%20millones%20de%20toneladas%20de%20CO2>
- [17] Zheng, S., & Jin, S. (2023). ¿Can companies reduce carbon emission intensity to enhance sustainability? *Systems*, 11(5), 249. <https://doi.org/10.3390/systems11050249>.