

# Cálculo de la línea base de las emisiones de gases de efecto invernadero y proyecciones a futuro para el sector transporte en el estado de Veracruz, México

## Baseline calculation of greenhouse gases emissions and future projections for the transport sector in the state of Veracruz, Mexico

María Concepción Martínez-Rodríguez<sup>1</sup>, Lorena Elizabeth Campos-Villegas<sup>2</sup>, José Jesús Castillo-Monroy<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: 18 de abril de 2018*

*Fecha de aprobación: 19 de junio de 2018*

Martínez-Rodríguez, M; Campos-Villegas, L; Castillo-Monroy, J. Cálculo de la línea base de las emisiones de gases de efecto invernadero y proyecciones a futuro para el sector transporte en el estado de Veracruz, México. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-1. Enero-Marzo 2019. Pág 118-133.

DOI: <https://doi.org/10.8845/tm.v32.i1.4123>

1 Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Ciudad de México, México. Correos electrónicos: [mconcepcionmr@yahoo.com.mx](mailto:mconcepcionmr@yahoo.com.mx); [mcmartinezr@ipn.mx](mailto:mcmartinezr@ipn.mx)

2 Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Ciudad de México, México.

3 Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Ciudad de México, México.



## Palabras clave

Energía; calentamiento global; economía ecológica; contaminación del aire; regulación ambiental.

## Resumen

El transporte en el Estado de Veracruz-México, representa el tercer sector en el consumo de energía y el de mayor crecimiento en emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), el cálculo de la línea base o escenario tendencial mediante el modelo Long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP) en el periodo 2010-2026 reporta un rango de 10.3 millones de TonCO<sub>2</sub>e a 15.3 millones de TonCO<sub>2</sub>e respectivamente, derivado de los consumos de gasolina y diésel principalmente. Los escenarios planteados se relacionan con la penetración de vehículos a diésel, así como de vehículos híbridos, uso de etanol como combustible y disminución del uso de automóvil particular como los camiones para pasajeros y camiones para carga. El impulso de estos escenarios tiene el potencial de reducir las emisiones de combustibles para el año 2026 en una cantidad equivalente a más del 15% del total de emisiones durante el periodo 2010-2026.

## Keywords

Energy; global warming; ecological economics; air pollution; environmental regulation.

## Abstract

Transport in the State of Veracruz-Mexico represents the third sector in energy consumption and the fastest growing emissions of Greenhouse Gases, the calculation of the baseline or trend scenario using the Long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP) model in the period 2010-2026 reports a range of 10.3 million to 15.3 million tonCO<sub>2</sub>e tonCO<sub>2</sub>e respectively, arising from the consumption of gasoline and diesel mainly. The scenarios presented are related to the penetration of diesel vehicles and hybrid vehicles, use of ethanol fuel and reducing the use of private cars and trucks for passengers and cargo trucks. The momentum of these scenarios has the potential to reduce fuel emissions for the year 2026 in an amount equivalent to more than 15% of total emissions for the period 2010-2026.

## Introducción

El cambio climático actualmente representa uno de los mayores desafíos de la humanidad, y uno de los principales factores que incide sobre este fenómeno es la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) debido a las actividades inherentes a los procesos de producción [1].

La liberación de GEI derivado de la quema de combustibles fósiles tiene efectos irreversibles sobre el clima mundial de acuerdo a estudios del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Ante este paradigma, empresas, industrias y comunidades reclaman la identificación, reducción y evaluación del impacto ambiental de las emisiones GEI derivado de los procesos de creación, transformación, transporte, almacenamiento, reciclaje o disposición de bienes y servicios [2].

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCC) ha establecido que para lograr estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera, todos los países, y en

particular los países de renta media como México, deben, como parte de sus compromisos frente al tema, elaborar e implementar estrategias de desarrollo bajo en emisiones.

En este contexto, México ha elaborado una estrategia de desarrollo bajo en emisiones (MLED), teniendo como objetivo destacado reducir significativamente las emisiones GEI del país. Por esto, recientemente se publicó en México la Ley General de Cambio Climático (LGCC), en la que se establecen acciones y responsabilidades compartidas por los tres niveles de gobierno para la elaboración y aplicación de políticas públicas, como parte de la gestión ambiental ante la adaptación al cambio climático y la reducción de GEI. En esta Ley se destaca que se debe ir hacia un desarrollo económico bajo en carbono y señala como objetivo la reducción de emisiones provocadas por la generación y uso de energía.

Lo mencionado anteriormente da pauta al desarrollo de investigaciones para conocer el impacto que tendrá el consumo de combustibles fósiles en el sector transporte, así como sus emisiones GEI, en el presente y futuro. Esto permitirá crear escenarios de mitigación en función del comportamiento de un escenario tendencial o *business as usual* (BAU).

Este documento, es parte del instrumento para la gestión ambiental en materia de emisiones GEI en el Estado de Veracruz para el sector transporte, con la premisa de tener una mejor comprensión de la dimensión de sus emisiones presentes y futuras por consumos de combustibles, así como identificar áreas de oportunidad en el potencial de reducción de la emisiones GEI. El cálculo de la línea base y sus proyecciones de emisiones GEI se centran en los datos del inventario estatal del Estado de Veracruz para el sector transporte.

Entre los objetivos que se tienen en la presente investigación tenemos: Calcular la línea base de los GEI y su proyección a futuro para el sector Transporte del Estado de Veracruz, México, establecer el escenario tendencial de las emisiones de GEI en términos de CO<sub>2</sub>e (Bióxido de carbono equivalente) en el sector transporte para la identificación del potencial de emisión en el periodo 2010-2026, identificar con base al escenario tendencial el subsector de transporte con mayor impacto en la generación de emisiones GEI por uso de combustibles fósiles, plantear escenarios de mitigación para el subsector transporte con mayor potencial de emisiones GEI en términos de CO<sub>2</sub>e, identificación, reducción y evaluación del impacto ambiental de las emisiones GEI derivado de los procesos de creación, transformación, transporte, almacenamiento, reciclaje o disposición de bienes y servicios.

## Antecedentes

### Planteamiento del problema

Derivado de USAID (Agencia Internacional de Estados Unidos para el Desarrollo) [3], las regiones en vías de desarrollo, como el estado de Veracruz, presentan una capacidad adaptativa reducida en relación a los efectos del aumento en la temperatura a largo plazo. Esto se debe a los bajos niveles económicos; la falta de infraestructura física y social, especialmente en salud y educación; la escasez de tecnología; el bajo nivel de eficiencia y confianza en las instituciones y servicios que prestan a la sociedad; la falta de información y conocimientos, y finalmente la desigualdad social y la pobreza que impide la equidad en la distribución de los beneficios sociales. Por ello, uno de los objetivos de estas regiones debe ser aumentar el desarrollo socioeconómico, lo cual ampliará la capacidad de adaptación de los habitantes de las comunidades y los hará menos vulnerables al cambio climático. No obstante, es claro que ese desarrollo económico implica el aumento en el consumo de energía y las emisiones GEI, aunque estas pueden mitigarse mediante el aprovechamiento de fuentes alternas y el uso más eficiente de la energía.

Con base en USAID [3], las emisiones GEI en Veracruz han aumentado entre 1990 y 2005 de 180% a 400%. Las emisiones estimadas en CO<sub>2</sub>e representan cerca de 3.5% del total nacional reportado en el inventario nacional, y provienen de la generación de energía, la agricultura, la ganadería y desechos.

En el balance nacional de energía 2005 se afirma que la región donde se localiza el Estado de Veracruz concentra la mayor parte de la energía primaria (90.5%), mientras que a los procesos de transformación corresponden al 61%. Veracruz contribuye con cerca del 20% a la generación nacional de energía eléctrica, principalmente a partir de combustibles fósiles.

Del total de las emisiones GEI provenientes de los sectores de generación de energía, agricultura, ganadería y desechos, el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el que más contribuye a estas emisiones aportando entre 62.4 y 67.3 % en 2003, seguido del metano (CH<sub>4</sub>) que aportó entre 32.6 y 37.6 % en 2004 y, por último, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) con una contribución de 0.1% a lo largo del periodo referido.

### **Acciones hacia la mitigación y vulnerabilidad ante el cambio climático**

Derivado de los compromisos que México ha asumido en los últimos años ante la UNFCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), se han ejecutado acciones en materia de política pública relacionada a cambio climático a nivel federal, permitiendo abrir compromisos en todos los niveles de gobierno: federal, estatal y municipal. En este contexto, la mayor parte de la política pública en materia de cambio climático se ha enfocado a nivel federal, aunque a nivel estatal y municipal han surgido algunas iniciativas.

El Estado de Veracruz cuenta con tres inventarios estatales para los años 2004, 2008 y 2010. Este último es un inventario con mayor alcance en las estimaciones de GEI, puesto que considera todas las categorías de energía (industria de la energía, refinación de petróleo, industrias manufactureras y de la construcción y transporte y otros sectores). Con relación a los avances en políticas estatales de cambio climático, Veracruz es uno de los estados que está clasificado dentro de un nivel avanzado, destacando su Ley Estatal de Mitigación y Adaptación ante los Efectos del Cambio Climático del Estado de Veracruz [4]. Se destaca también como un estado que cuenta con un Programa Estatal de Cambio Climático (PECC), así como uno de los que ha conformado arreglos transversales de atención al tema de cambio climático y quien ha manifestado interés en el programa MLED (Mexico Low Emissions Development). Asimismo, en 2010, se publicaron las Agendas Sectoriales de Cambio Climático del Estado de Veracruz 2012-2016, entre las medidas que se establecen destacan las del sector transporte en la reducción de emisiones de GEI. Por consiguiente, conocer los consumos actuales de energéticos en este sector, permite obtener estimaciones y tendencias de usos en el futuro.

De acuerdo a las bases del MLED, el consumo de combustibles fósiles para el transporte es la mayor fuente de emisiones GEI en México (145 MtCO<sub>2</sub>e en 2006). Entre 1990 y 2000, la tasa promedio de crecimiento de las emisiones relacionadas con consumo de combustibles para autotransporte fue 2.6 % anual, y se incrementó a 5.8 % anual entre 2000 y 2008. Entre 1990 y 2008 las emisiones relacionadas a transporte se duplicaron. Esto hace de la eficiencia energética en este subsector un tema prioritario para México, y en específico para sus entidades y municipios [5]. De acuerdo con datos históricos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), se estima que el parque vehicular del estado de Veracruz crecerá a una tasa media de crecimiento anual del 6.2 %.

Es importante destacar que en el Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD) 2011-2016 se destaca que el transporte aporta el 8.1 % del PIB del Estado, encontrándose por arriba del promedio nacional. También, de acuerdo con el inventario 2010 del Estado de Veracruz, los principales usos de energéticos se encuentran en tres sectores: 39 % en la industria del petróleo, 25 %

en la generación de energía eléctrica y 18 % en el sector transporte. Las principales fuentes de energía de este último sector son las gasolinas y el diésel, así como de turbosina y Gas LP. De acuerdo con el Programa de Acción Climática Veracruzano, a pesar de que en materia de generación de electricidad y uso de combustibles fósiles es poco lo que puede hacer el estado para emprender acciones de lucha contra el cambio climático, sí puede actuar en materia de transporte. Entre sus estrategias se destaca, incentivar la utilización del sistema de transporte de baja emisión de contaminantes, como mejorar las tasas de rendimiento de uso de combustibles por km/l, así como la introducción de combustibles menos agresivos al ambiente.

## Metodología

Con la finalidad de cumplir con los objetivos, a continuación se desglosa el proceso metodológico llevado a cabo para las proyecciones de las emisiones de GEI:

1. Investigar datos clave como consumos energéticos y modos de transporte del Estado de Veracruz derivado de informaciones oficiales y públicas como prospectivas económicas, energéticas, entre otras.
2. Analizar el último inventario de emisiones de GEI del Estado de Veracruz.
3. Configurar el año base en la herramienta LEAP.
4. Desarrollar el escenario energético: tendencial o *BAU*.
5. Implementar en el modelo LEAP la prospectiva energética para el periodo 2010-2026 y realizar el análisis de los resultados obtenidos en relación a los consumos energéticos y sus correspondientes emisiones GEI.
6. Definir escenarios de mitigación para el subsector con mayor impacto de emisiones por consumos de combustibles.

## Identificación de variables

En el marco del cálculo de las emisiones de GEI en el proceso del sector transporte, se involucran diversas variables a considerar. Las cuales se describen a continuación:

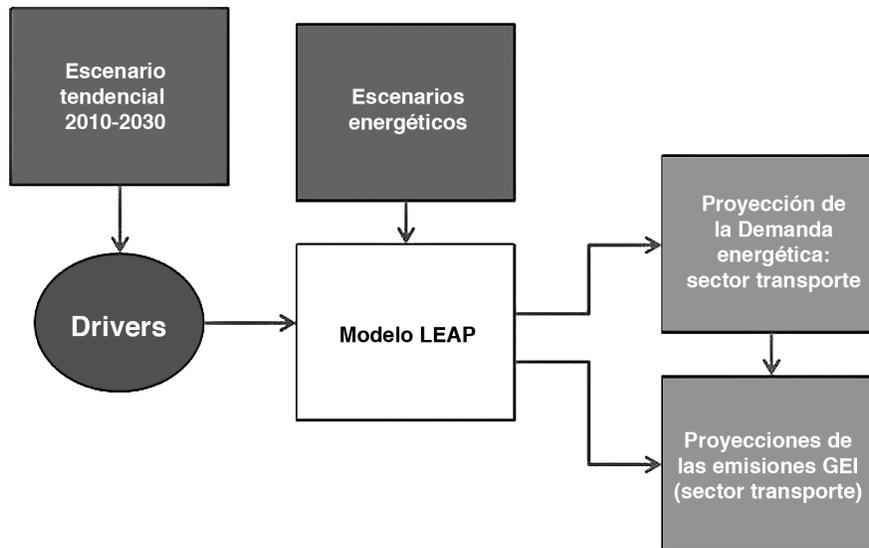
### El escenario socioeconómico

El Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, tiene una superficie de 71,820 km<sup>2</sup>, con una extensión máxima de noroeste a sudeste es de 800 kilómetros de largo y 212 kilómetros de ancho, mientras que la mínima es de 32 kilómetros de anchura. Este Estado ocupa el lugar 11 a nivel nacional por ser de las entidades más grandes de la República Mexicana.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, efectuado por el INEGI [6], la población de todo el Estado es de 7, 712, 247 habitantes, de las cuales el 78% de la población vive en localidades urbanas y el 22% en rurales. Con base en los datos de la CONAPO (Consejo Nacional de Población) se estima que la población en 2026 será de 8, 781,620 con una tasa de crecimiento promedio anual del 0.65 %.

En 2010, el PIB del Estado fue de 634,286 millones de pesos a precios constantes, las actividades terciarias aportaron el 53.6 %, seguidas por las actividades secundarias con 42 %, y las actividades primarias 4.4 %. Dentro de las actividades terciarias se desglosan el sector transporte, correos y almacenamiento, el PIB de este sector representa el 6.6 % del PIB estatal y el 12.4 % del PIB de las actividades terciarias. Con base al cálculo realizado con un historial del PIB del estado, se estima que se tenga un crecimiento del 3 % anual en los próximos años.

En la figura 1, se muestra una representación esquemática del papel del escenario económico en el contexto del estudio.



**Figura 1.** Escenario tendencial para el sector transporte.

### Sistema energético en Veracruz en el sector transporte

De acuerdo con el inventario de emisiones GEI del Estado de Veracruz 2010, las estimaciones de las emisiones fueron de acuerdo a tres categorías: Agrícola, emisiones fugitivas y energía, esta última incluye las subcategorías de consumo de energía, refinación de petróleo, industria manufacturera, transporte, residencial y comercial. En el año 2010, para satisfacer la demanda de los sectores antes mencionados, se comercializó un total de aproximadamente 772 petajoules (PJ) de energía, de los cuales aproximadamente 141 PJ corresponde al sector transporte, que representa al 18 % del consumo total de energía.

El transporte carretero se satisface básicamente con las gasolinas y diésel, en conjunto hacen un consumo energético de casi el 17 % del total estatal. Con más de 2.5 millones de m<sup>3</sup> anuales de gasolina y más de 1.3 millones de litros de diésel, satisfacen la demanda de 1.51 millones de unidades vehiculares en el estado.

El estado cuenta con 4 aeropuertos, consumiendo un total de 169 mil m<sup>3</sup> de turbosina. Existen también cuatro puertos, tanto de altura como de cabotaje, en los cuales se consumen 130 mil m<sup>3</sup> de diésel. La aviación y navegación del estado consumen una pequeña proporción de la energía, con tan solo el 1.4 % del total [7].

### Herramienta para proyección de emisiones de GEI

#### long-range Energy Alternatives Planning system (LEAP) [8]

Usualmente se utilizan modelos económicos energéticos para pronosticar cuáles serán los consumos futuros, la oferta que atienda la demanda y los impactos ambientales derivados de diversas combinaciones. LEAP es una plataforma computacional diseñada para llevar a cabo una planeación energético-ambiental en forma integrada. Se basa en los siguientes escenarios:

- Prospectiva energética (*forecasting*)
- Planeación integrada de los recursos
- Análisis de política energética
- Análisis de mitigación de gases de efecto invernadero
- Balances energéticos e inventarios ambientales

Su principal objetivo es brindar un soporte integrado y confiable en el desarrollo de estudios de planeación energética integrado, que permite identificar y evaluar opciones de política y tecnologías alternativas.

- Para el desarrollo de LEAP se requiere datos como:
- Balance energético del año base
- Precios de los distintos productos energéticos
- Parámetros tecnológicos
- Costos por cada tecnología
- Proyecciones internacionales de precios de energía
- Coeficientes ambientales locales (opcional)
- Intensidades energéticas para procesos de uso final
- Información sobre usos de biomasa

## Elementos para definir el escenario tendencial

### Variables del escenario tendencial

En primer lugar, el estudio se basa de un escenario energético del sector transporte de Veracruz, y se plantea un escenario para el periodo 2010-2026, denominado Tendencial (*BAU*).

Con respecto a la demanda de gasolina y turbosina en el Estado de Veracruz, en el cuadro 1, se desglosa la prospectiva de este tipo de combustible al 2026. Estos datos fueron configurados en LEAP para estimar las proyecciones al 2026 a partir del año base 2010.

La información de consumo del gas LP por sector se dispone en el Balance Nacional Energético (BNE) y el PIB nacional, y por sector se encuentra disponible en el INEGI. En base a una guía para realizar balances energéticos [10], se sugiere estimar los consumos de combustibles en el sector transporte de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_{te}GLP_{to} = \frac{E_tGLP_{nacto}}{A_{nacto}} \cdot A_{estto}$$

Donde:

$E_{te}GLP_{to}$ : es el consumo de GLP para el sector t (transporte) en el estado para el año to.

$E_tGLP_{nacto}$ : es el consumo nacional de GLP para el sector t (transporte) para el año to.

$A_{nacto}$ : es el número de automóviles nacionales para el to.

$A_{estto}$ : es el número de automóviles estatales para el to.

**Cuadro 1.** Prospectiva de demanda interna de gasolina y turbosina, 2011-2026.

Año	Tipos de combustible [TJ]	
	Gasolinas	Turbosinas
2011	80,927.62	2808.13
2012	84,276.35	3886.62
2013	91,717.97	4049.4
2014	95,624.82	4151.15
2015	100,647.91	4293.59
2016	105,857.04	4436.03
2017	110,694.10	4578.47
2018	115,531.15	4700.56
2019	120,182.16	4843
2020	124,275.05	4985.44
2021	128,553.99	5127.89
2022	132,088.76	5270.33
2023	136,553.73	5412.77
2024	140,460.58	5575.56
2025	144,553.47	5738.35
2026	148,646.36	5901.14

Fuente: Prospectiva de Petrolíferos 2010-2026 [9].

En el cuadro 2 se presentan las ventas internas de diésel en el estado.

**Cuadro 2.** Ventas internas de diésel-autotransporte, 1998-2010.

Año	Ventas internas de diésel-autotransporte, 1998-2010	
	Miles de barriles diarios	Terajoules [TJ]
1998	15.2	30,087.43
1999	16.24	32,157.12
2000	15.04	29,791.15
2001	14.96	29,634.87
2002	15.3	30,303.72
2003	16.21	32,093.84
2004	17.29	34,244.80
2005	18.07	35,788.90
2006	19.55	38,718.74
2007	20.82	42,960.49
2008	21.11	45,854.49
2009	21.3	44,261.11
2010	21.58	44,757.59

Fuente: Elaboración propia con datos de [www.sie.energia.gob.mx](http://www.sie.energia.gob.mx)

En el cuadro 3 se presentan las estimaciones realizadas.

**Cuadro 3.** Consumo de GLP, 2005-2010.

Año	Consumo [TJ]
2005	2,251.69
2006	1,777.78
2007	2,176.13
2008	1,991.49
2009	1,927.23
2010	1,986.89

Fuente: Creación propia derivada de Guías de balances energéticos estatales [11].

### Factores de emisión (FE)

Los FE utilizados para el cálculo de las emisiones de GEI en esta proyección de la línea base se presentan en el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Factores de emisión por tipo de combustible.

Tipo de transporte	Combustible	Factores de emisión [Kg/TJ]		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Terrestre	Gasolinas	69,300	25	8
	Diésel	74,100	3.9	3.9
	Gas LP	63,100	62	0.2
Ferroviano	Diésel	74,100	4.15	28.6
Marino	Diésel	74,100	7	2
Aéreo	Queroseno	71,900	3	0.6

Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change [12].

## Resultados de la proyección de la línea base

### Proyección energética

El consumo de combustibles en el sector transporte puede observarse una tendencia de crecimiento durante el periodo de cálculo. En 2010, la cantidad de combustible para este sector representa 140,700 TJ y para el 2026 con el escenario tendencial se estima sea de 209,000 TJ, es decir un 48.5 % más con respecto al año base. El subsector con mayor consumo es el autotransporte.

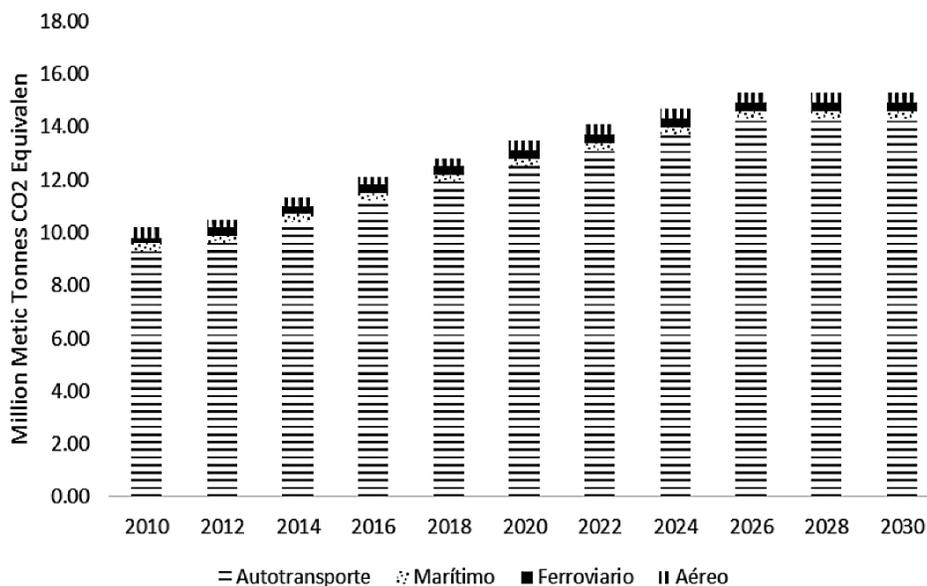
Con respecto al año base, el consumo de combustible para este subsector es de aproximadamente el 90 % del total en ese sector. El cuadro 5, muestra la distribución porcentual por subsector.

**Cuadro 5.** Participación del consumo de combustibles en el sector transporte [%]

Año	Tipo de transporte				Total
	Autotransporte	Marítimo	Ferroviario	Aéreo	
2010	90.4	3.3	2.1	4.2	100
2012	91.9	3.3	2.1	2.7	100
2014	92.3	3	2	2.7	100
2016	92.7	2.8	1.8	2.7	100
2018	92.9	2.7	1.7	2.7	100
2020	93.1	2.5	1.6	2.7	100
2022	93.3	2.4	1.6	2.7	100
2024	93.4	2.3	1.5	2.8	100
2026	93.5	2.2	1.4	2.8	100
2028	93.5	2.2	1.4	2.8	100
2030	93.5	2.2	1.4	2.8	100

### Proyección de emisiones GEI

Con relación al consumo total de energéticos en el sector transporte, es evidente que tiene una relación con la tendencia de emisiones de CO<sub>2</sub>e. En 2010 se estimaron 10.34 Millones de ton CO<sub>2</sub>e y en base al escenario tendencial se estima que las emisiones asciendan a 15.3 Millones de ton CO<sub>2</sub>e en 2026, es decir aproximadamente 48 % más en comparación al año base. En la figura 2 se muestra la proyección de la línea base y se observa una tendencia de crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>e por modo de transporte.



**Figura 2.** Emisiones de CO<sub>2</sub>e para los diferentes subsectores del transporte.

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>e por tipo de combustibles, en el cuadro 6 se muestra la tendencia en valores absolutos de las emisiones de CO<sub>2</sub>e. La cual muestra que la gasolina y el diésel son los combustibles con mayor participación de emisiones GEI, en el presente y futuro.

**Cuadro 6.** Emisiones de GEI en el periodo 2010-2026 (Millones de ton CO<sub>2</sub>e)

Año	Combustible				Total
	Diésel	Gasolina	Gas LP	Queroseno	
2010	4	5.8	0.1	0.4	10.3
2012	4	6.1	0.1	0.3	10.5
2014	4	6.9	0.1	0.3	11.3
2016	4	7.7	0.1	0.3	12.1
2018	4	8.4	0.1	0.3	12.8
2020	4	9	0.1	0.4	13.4
2022	4	9.6	0.1	0.4	14
2024	4	10.2	0.1	0.4	14.7
2026	4	10.7	0.1	0.4	15.3
2028	4	10.7	0.1	0.4	15.3
2030	4	10.7	0.1	0.4	15.3

En el cuadro 7 se muestra las tendencias de emisiones de CO<sub>2</sub>e por subsector. En la cual se puede observar que las emisiones en 2026 para el sector autotransporte representan un incremento de aproximadamente el 54 % con respecto al año base.

**Cuadro 7.** Emisiones de GEI por subsector (Millones de ton CO<sub>2</sub>e)

Año	Tipo de transporte				Total
	Autotransporte	Marítimo	Ferroviario	Aéreo	
2010	9.3	0.3	0.2	0.4	10.3
2012	9.6	0.3	0.3	0.3	10.5
2014	10.4	0.3	0.3	0.3	11.3
2016	11.2	0.3	0.3	0.3	12.1
2018	11.9	0.3	0.3	0.3	12.8
2020	12.5	0.3	0.3	0.4	13.4
2022	13.1	0.3	0.3	0.4	14
2024	13.7	0.3	0.3	0.4	14.7
2026	14.3	0.3	0.3	0.4	15.3
2028	14.3	0.3	0.3	0.4	15.3
2030	14.3	0.3	0.3	0.4	15.3

Por otra parte, es importante destacar, que la gasolina es el principal combustible que genera emisiones de CO<sub>2</sub>e para el subsector autotransporte. Con respecto al 2010, tiene un incremento de aproximadamente el 84.4 % al 2026. En el cuadro 8 se desglosan las aportaciones de CO<sub>2</sub>e por tipo de combustible en el sector autotransporte.

**Cuadro 8.** Emisiones de GEI en el autotransporte (Millones de ton CO<sub>2</sub>e)

Año	Combustible			Total
	Gasolina	Diésel	Gas LP	
2010	5.8	3.4	0.1	9.3
2012	6.1	3.4	0.1	9.6
2014	6.9	3.4	0.1	10.4
2016	7.7	3.4	0.1	11.2
2018	8.4	3.4	0.1	11.9
2020	9	3.4	0.1	12.5
2022	9.6	3.4	0.1	13.1
2024	10.2	3.4	0.1	13.7
2026	10.7	3.4	0.1	14.3
2028	10.7	3.4	0.1	14.3
2030	10.7	3.4	0.1	14.3
Total	43.3	16.9	0.6	60.8

Este crecimiento tendencial en las emisiones de CO<sub>2</sub> para el sector autotransporte, tiene una vinculación con el crecimiento de vehículos automotores que se prevé crezcan al 2026. Por otra parte, es importante destacar, que la actividad económica del Estado tendrá una influencia significativa en los consumos energéticos, así como en la aportación de las emisiones de GEI.

### Potencial de reducción de emisiones en el sector autotransporte

En los cuadros 9 y 10, se muestra en resumen el escenario base correspondiente a las emisiones totales de GEI en el sector transporte, así como emisiones de GEI por combustible en el sector autotransporte.

**Cuadro 9.** Emisiones en el sector transporte (millones de TonCO<sub>2</sub>e)

Año	Tipo de transporte				Total
	Autotransporte	Marítimo	Ferrovionario	Aéreo	
2010	9.3	0.3	0.2	0.4	10.3
2015	10.8	0.3	0.3	0.3	11.7
2020	12.5	0.3	0.3	0.4	13.4
2025	14	0.3	0.3	0.4	15
2030	14.3	0.3	0.3	0.4	15.3
Total	60.8	1.7	1.3	1.9	65.7

### Emisiones de gases con efecto invernadero en el escenario base

Derivado de la estimación de emisiones en 2026, éstas ascenderán a 14.3 millones de Ton CO<sub>2</sub>e de los cuales el 74.8 % corresponderán a gasolina, 23.8 % a diésel y el resto a GLP. Se estima que las principales aportaciones de emisiones corresponden a automóviles, camiones y camiones de carga, como se muestra en el cuadro 11.

**Cuadro 10.** Emisiones por combustible en autotransporte (millones de TonCO<sub>2</sub>e)

Año	Combustible			Total
	Gasolina	Diésel	Gas LP	
2010	5.8	3.4	0.1	9.3
2015	7.3	3.4	0.1	10.8
2020	9	3.4	0.1	12.5
2025	10.5	3.4	0.1	14
2030	10.7	3.4	0.1	14.3
Total	43.3	16.9	0.6	60.8

**Cuadro 11.** Emisiones por modo de transporte

Modo de Transporte	Aportación de emisiones en el periodo 2010-2030 (Millones de ton CO <sub>2</sub> e)
Automóviles a gasolina	43.3
Camiones y camionetas para carga a diésel	16.9
Total	60.2

## Escenarios de mitigación

### Automóviles Particulares del Estado de Veracruz

Los automóviles particulares representan casi el 60 % en el sector autotransporte y el principal combustible para este tipo de vehículos es la gasolina.

#### *E1. Mayor penetración de vehículos a diésel.*

Los vehículos a diésel son más eficientes en el uso de energía que los vehículos a gasolina. De acuerdo con IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) [13], los motores a diésel emiten en promedio 19 % menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que los a gasolina. Se estima que habría un potencial de reducción del 6.52 %, es decir una reducción de 1'556,179 Ton CO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por automóviles, con relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 2.43 %.

#### *E2. Introducción de vehículos híbridos*

Con base en la Prospectiva de Petrolíferos, la evolución deseada del parque vehicular es hacia vehículos subcompactos de altos rendimientos. Dentro de las alternativas para reducir el consumo de combustible y reducir las emisiones de gases contaminantes, se encuentra la tecnología híbrida<sup>3</sup>, que combina un motor a gasolina o diésel, con uno eléctrico. Se estima que habría un potencial de reducción del 2.6 %, es decir una reducción de 638,262 TonCO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por automóviles, en relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 0.98 %.

#### *E3. Utilización de etanol*

Históricamente, la producción de bioenergéticos en México ha sido a pequeña escala. Recientemente, se ha comenzado a producir biogás para la generación de electricidad en el norte del país. Asimismo, el biodiesel se ha empleado como combustible, directamente o en mezclas. Se estima que habría un potencial de reducción del 2.04 %, es decir una reducción de 513,368 TonCO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por automóviles, en relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 0.8%.

#### *E4. Disminución del auto particular en un día sin auto*

Este escenario supone un día sin auto, sin embargo esto implicaría mejoras en el transporte público para ofrecer opciones de traslado. Este escenario considera un aumento de un día sin auto de los autos con más antigüedad. Se supone un 5 % anual de la incorporación de los automóviles a un día sin auto con rendimiento promedio constante de 8.16 km/l de acuerdo al IMP [13]. Se estima que habría un potencial de reducción del 5.9 %, es decir una reducción de 1,438,313 TonCO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por automóviles, en relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 2.24%.

#### **Camiones y camionetas para carga del Estado de Veracruz**

Los camiones y camionetas para carga representan el 35 % del transporte carretero. Este tipo de modo de transporte, consume principalmente diésel.

#### *E5. Mayor rendimiento de los camiones y camionetas a diésel.*

El rendimiento promedio, de acuerdo a la Prospectiva Petrolífera a través de los años será de 3.5 km/l en 2005 a 4.1 km/l en el 2026. Se estima que habría un potencial de reducción del 21 %, es decir una reducción de 2,942,870 TonCO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por Camiones y Camionetas de carga, en relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 4.7 %.

#### *E6. Penetración de camiones y camionetas de carga a etanol*

Se estima que habría un potencial de reducción del 11.2 %, es decir una reducción de 1'735,655 TonCO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por Camiones y Camionetas de carga, en relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 2.7 %.

#### *E7. Disminución del uso del camión y camioneta de carga a un día sin circulación*

Este escenario considera un aumento de un día sin circulación para aquel transporte con más antigüedad. Se supone una introducción gradual a un "programa un día sin circulación" a partir del 2015 con el 1 % hasta alcanzar en 2026 un 20% con rendimiento promedio constante de 3.3 km/l de acuerdo a SENER (Secretaría de Energía) [14]. Se estima que habría un potencial de reducción del 22.4 %, es decir una reducción de 3'109,618 TonCO<sub>2</sub>e con respecto a las emisiones por Camiones y Camionetas de carga, en relación a las aportaciones totales del sector transporte representa una reducción del 4.9 %.

## **Discusión**

Es evidente que las emisiones de GEI derivadas del autotransporte son las principales emisiones en el sector transporte en el Estado de Veracruz, por lo que las estrategias de mitigación debieran estar vinculadas con objetivos y metas concretas a las políticas de transporte y desarrollo urbano. Las emisiones de GEI del sector transporte dependen de la intensidad energética requerida por los diferentes sistemas de transportación, así como por las mezclas de combustibles fósiles que el transporte utiliza. Derivado de esto, es importante la necesidad de reconocer las tendencias en la intensidad energética y el balance de combustibles en el sector.

Es importante destacar que México ya ha considerado acciones de mitigación para el sector transporte en el Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012. La literatura sugiere que el transporte ferroviario sea una opción viable como transporte de carga. La Comisión para la Cooperación de América del Norte, publicó que un camión pesado genera 104.5 gramos/tonelada-km de CO<sub>2</sub> contra el ferrocarril, que se estima genera 39.3 gramos/tonelada-km de CO<sub>2</sub>. Existe una proporción del uso energético entre los camiones de carga el ferrocarril y que se encuentra entre 1.7 a 1 [15].

## Conclusiones

Con base en la proyección de línea base correspondiente al 2010-2026, las emisiones del sector transporte en el Estado en 2010 corresponden a aproximadamente 10.34 millones de ton CO<sub>2</sub>e y con base en el escenario tendencial se estima que las emisiones asciendan a 15.3 Millones de ton CO<sub>2</sub>e en 2026, es decir aproximadamente 48 % más en comparación al año base. Este aporte podría crecer significativamente hasta un 20.3 % en el periodo proyectado y aunado a la acelerada tasa de motorización del estado, del deterioro de los sistemas de transporte público, y la expansión territorial de las ciudades podría esperarse un incremento adicional.

El subsector con mayor consumo es el autotransporte, que está conformado básicamente por automóviles privados, autobuses pasajeros, camiones de carga y motocicletas y con base en datos históricos de INEGI, se estima que se tenga una tasa de crecimiento anual del 6.2 %.

La gasolina y el diésel son los principales combustibles usados. Es importante destacar que el diésel mantiene una constante en su uso, no obstante la gasolina tiene un crecimiento durante el periodo de tiempo evaluado. Con respecto al año base, la gasolina crece en aproximadamente el 84.4 % al año 2026. El impulso de estos escenarios tiene el potencial de reducir las emisiones de combustibles para el año 2026 en una cantidad equivalente a más del 15% del total de emisiones durante el periodo 2010-2026.

## Referencias

- [1] SEMARNAT, "La Gestión Ambiental en México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales", México, 2006, 333 p.
- [2] IPCC. (2007). *Cuarto Reporte. Panel Intergubernamental de Cambio Climático Resumen para tomadores de decisiones* [en línea]. Disponible en: <http://www.ipcc.ch>
- [3] USAID, "Capacidades institucionales y desarrollo de instrumentos de planeación y de política en materia de cambio climático en las 32 entidades federativas y sobre el Sistema Nacional de Cambio Climático (SINACC)", México Low Emissions Development Program (MLED), Tetra Tech ES INC, México, 2014, 177 pp.
- [4] USAID, "Políticas estatales en materia de cambio climático de las 32 entidades federativas de México-Mexico Low Emissions Development Program (MLED)", Tetra Tech ES INC., México, 2012, 56 pp.
- [5] SEMARNAT-INECC, "Bases para una Estrategia de Desarrollo Bajo en Emisiones en México", SEMARNAT-INECC, México, 2012, 120pp.
- [6] INEGI, "Anuario de estadísticas por Entidad Federativa", INEGI, México, 2010, 600 pp.
- [7] SEDEMA, "Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Veracruz 2010", SEDEMA, Veracruz, México, 2010, 94 pp.
- [8] LEAP, "LEAP, Users Guide for version 2011-first draft", SEI-Stockholm Environment Institute-U.S. Center., EUA. 2007, 301 pp.
- [9] SENER, "Prospectiva de Petrolíferos 2012-2026", SENER, México, 2012, 179 pp.
- [10] INE-IIUNAM, "Guía para realizar balances energéticos estatales para la estimación de inventarios de gases de efecto invernadero. Informe Final", INE-IIUNAM, México, 2012, 47 pp.

- [11] INE (2012). Avances de los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático. <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/peacc/> (última consulta: Febrero 10, 2013)
- [12] IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 1. Orientación general y generación de informes, Cap 3.
- [13] IMP, “Escenarios de emisiones y medidas de mitigación de gases de efecto invernadero en sectores clave. Sector Transporte”, IMP, México, 2005, 51 pp.
- [14] SENER, “Balance Nacional de Energía 2011”, Dirección General de Planeación Energética, México, 2012, 159 p.
- [15] Comisión para la Cooperación Ambiental, “Un solo destino: las sustentabilidad. Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el transporte de carga en América del Norte”, Quebec, Canadá, 2011, 76 p.