

Eje 3

Movilidad urbana y hábitat

Capítulo 3.1

Emisiones de CO₂ del parque vehicular registrado en la zona metropolitana Tepic-Xalisco

Marceleño Flores Susana¹

García Núñez Citlaly²

Najera González Oyolsi³

Fernando Flores Vilchez

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE20259693>



¹ Profesora-Investigadora de la Universidad Autónoma de Nayarit. e-mail: susana.marceleno@uan.edu.mx

² Profesora-Investigadora de la Universidad Autónoma de Nayarit. e-mail: citlaly.garcia@uan.edu.mx

³ Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Nayarit. e-mail: oyolsi@uan.edu.mx

1. Introducción

El cambio climático es una de las principales amenazas ambientales del siglo XXI, impulsado en gran medida por las actividades humanas asociadas al consumo energético, la expansión urbana y el modelo dominante de movilidad. Uno de los sectores más críticos en este fenómeno es el transporte, especialmente el terrestre, que se ha consolidado como una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (N₂O).

El World Resources Institute (WRI, 2022) reporta que el 73.8 % de las emisiones globales de GEI están concentradas en 83 países, siendo las ciudades responsables del 70 % del total. Dentro de este contexto, el autotransporte destaca como el mayor emisor dentro del sector, atribuyéndosele el 45 % de las emisiones de GEI relacionadas con el transporte, con una tasa de incremento anual del 1.9 %. Esto coloca a la movilidad urbana como un eje estratégico tanto para mitigar como para intensificar el calentamiento global.

En México, la situación es alarmante. En 2020, el país ocupaba el lugar 75 en emisiones de GEI a nivel mundial; sin embargo, para 2022 ascendió al noveno lugar, representando el 1.4 % del total de emisiones globales (BBVA Research, 2024). Este aumento abrupto se asocia con un crecimiento urbano desordenado, una expansión territorial fragmentada y una alta tasa de motorización.

En el estado de Nayarit, el inventario estatal de emisiones (PACC-NAY, 2012) identificó al transporte como el principal emisor de GEI, responsable del 81 % de las emisiones del sector energético. En la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco (ZMTX), se contabilizaron más de 200 000 vehículos en 2019. Aunque la cobertura del transporte público abarca el 100 % de la población en un radio de 350 metros (IMPLAN, 2019), el uso del vehículo privado sigue predominando. Esta situación se ve

agravada por el envejecimiento del parque vehicular, 35 % con entre 20 y 25 años de antigüedad (INEGI, 2020), y por la ausencia de controles ambientales locales eficaces.

Bajo este contexto, se plantea la hipótesis de que el parque vehicular registrado en la ZMTX genera un volumen de emisiones de GEI significativamente superior al estimado en el inventario estatal de 2012. De comprobarse, esta situación evidenciaría una subestimación en los diagnósticos previos y la necesidad de actualizar las políticas públicas para la movilidad sustentable.

Objetivo: Estimar las emisiones de GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) generadas por el parque vehicular registrado en la ZMTX durante 2020, con base en la metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), a fin de generar un diagnóstico técnico que contribuya a la formulación de estrategias locales de mitigación y sostenibilidad urbana.

Este estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, transversal y descriptivo. La metodología se basa en el cálculo de emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles mediante fórmulas propuestas por el IPCC (2006), empleando un enfoque de nivel 2 para emisiones de CO₂ y nivel 1 para CH₄ y N₂O.

Para ello, se utilizaron datos oficiales del parque vehicular registrados ante la Secretaría de Finanzas del Estado de Nayarit, los cuales incluyen variables como tipo de vehículo, modelo, cilindraje, tipo de combustible y origen. Además, se construyó una base de datos con la caracterización de los vehículos y se estimaron los volúmenes de consumo energético en Terajulios (TJ), con base en densidades de combustible y factores de emisión estandarizados.

La información se integró en una base de datos construida para este estudio, con el fin de determinar el total de emisiones en kilogramos y su conversión a CO₂ equivalente, lo que permite dimensionar la magnitud del impacto ambiental del transporte urbano en la ZMTX.

2. Metodología

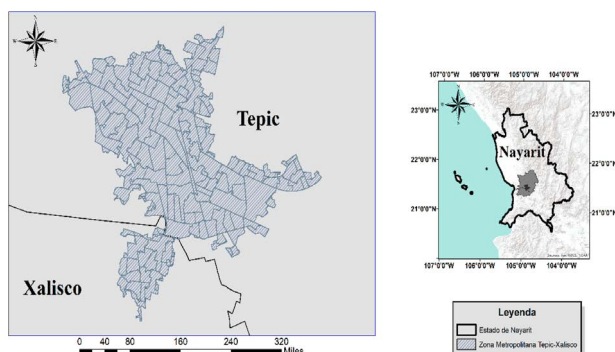
Área de estudio:

La zona metropolitana Tepic-Xalisco (Figura 1), cuenta con una superficie de 59.8 km², se encuentra en el estado de Nayarit en las coordenadas geográficas 21° 43' 26" Latitud Norte, 104° 56' 46" Longitud Oeste y 21° 16' 12" a una altitud promedio de 915 m s.n.m. (INEGI, 2014).

Figura 1

Localización geográfica de la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco en el estado de Nayarit, México.

Zona Metropolitana Tepic-Xalisco



Fuente: Elaboración propia

Universo

- Zona Metropolitana Tepic-Xalisco
- 211 631 vehículos.
- 25 310 motocicletas.

El estudio se desarrolló bajo un diseño de investigación cuantitativo, descriptivo y transversal, con enfoque no experimental (Figura 2). Se estructuró en dos fases: documental y de campo.

En la fase documental se revisaron fuentes oficiales como el PACC-NAY (2012), datos del INEGI (2014, 2021), registros del INECC (2019) y estadísticas del World Resources Institute (2022). En la fase de campo, se recopiló información actualizada del parque vehicular a partir de la Secretaría de Movilidad del Estado de Nayarit (SEMOVI, 2020), segmentando por tipo de vehículo, combustible y año-modelo.

La base de datos incluyó las variables: tipo de unidad, tipo de combustible, año-modelo, factor de emisión y número de unidades. Se aplicaron los factores de emisión de la metodología IPCC 2006 (Vol. 2, Cap. 3) para el cálculo de CO₂, CH₄ y N₂O. Las ecuaciones utilizadas fueron:

Ecuación 1:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \Sigma (\text{Consumo de combustible} \times \text{Factor de emisión})$$

Ecuación 2:

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ y N}_2\text{O} = \Sigma (\text{Consumo de combustible} \times \text{Factor de emisión específico})$$

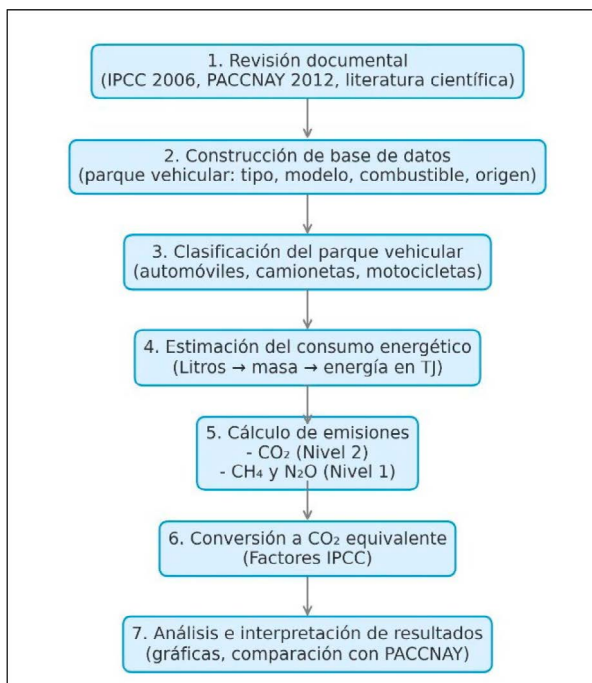
Ecuación 3:

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = (\text{CO}_2) + (\text{CH}_4 \times 28) + (\text{N}_2\text{O} \times 265)$$

El procesamiento y análisis de datos se realizó en Microsoft Excel® 2021, generando resultados totales y desagregados por tipo de vehículo y combustible, así como comparaciones con los datos del PACCNAY (2012).

Figura 2

Diagrama metodológico para la estimación de emisiones de GEI del parque vehicular en la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco



Fuente: Elaboración propia

3. Resultados y discusión

El parque vehicular registrado dentro de la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco (ZMTX) en el año 2020 se conformó por 211,631 vehículos y 25 310 motocicletas; el 69 % fueron automóviles y el 31 % camionetas (Tabla 1). Al categorizarlos por tipo de combustible, se encontró que el 97 % utilizan gasolina y el 3 % diésel, mientras que el 100 % de las motocicletas emplean gasolina. Esta composición tiene implicaciones significativas para la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la región (Castellanos, 2017).

En cuanto a la antigüedad, el 35 % de los vehículos registrados presentaron entre 20 y 25 años de uso, lo que incrementa la emisión de

contaminantes debido a tecnologías menos eficientes. Esta proporción se encuentra compuesta en un 54 % por unidades importadas, mientras que la antigüedad media del parque vehicular a nivel nacional es de 15 años (INEGI, 2016).

Tabla 1

Caracterización del parque vehicular en la ZMTX, 2020.

Tipo de vehículo	Unidades	% participación	Combustible principal	Antigüedad predominante
Automóviles	146 030	69 %	Gasolina	20-25 años
Camionetas	65 601	31 %	Gasolina / Diésel	20-25 años
Motocicletas	25 310	100 %	Gasolina	<10 años

Fuente: Elaboración propia

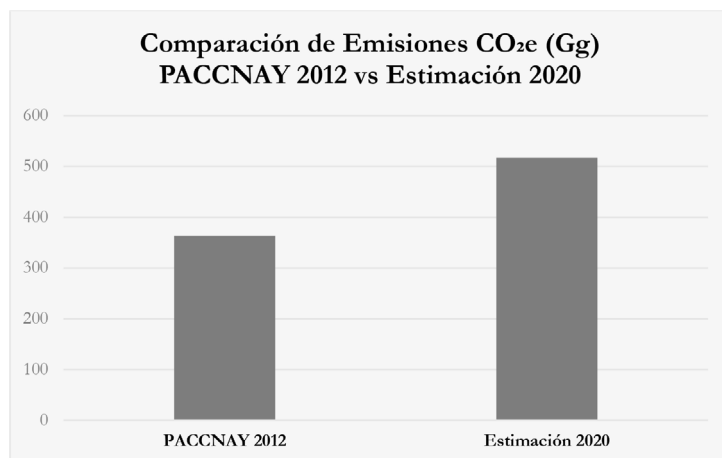
En el año 2020, el total de emisiones del parque vehicular de la ZMTX se estimó en 516.84 Gg de CO₂ equivalente, lo que representa un incremento del 42.4 % respecto a las 362.9 Gg reportadas en el PACCNAY 2012. Este aumento es notable considerando que la ZMTX representa apenas el 0.25 % de la superficie estatal.

El total de emisiones del parque vehicular de la ZMTX fue de 516.84 Gg de CO₂e en 2020. En promedio, cada vehículo emitió 2 000 kg de CO₂e y cada motocicleta 15 kg de CO₂e en ese año. La magnitud de estas emisiones equivale a 57 pirámides de Cholula considerada el basamento más grande del mundo, recordando que 1 tonelada de CO₂e equivale a 510 m³, y 1 Gg de CO₂e equivale a 1 000 toneladas métricas de CO₂e.

La Figura 3 muestra la comparación entre las emisiones estimadas para 2020 y las reportadas en el PACCNAY 2012, evidenciando un incremento del 42.4 %.

Figura 3

Comparación de emisiones de CO₂e en la ZMTX: PACCNAY 2012 vs Estimación 2020.



Fuente: Elaboración propia

Este crecimiento refleja una subestimación histórica del impacto del transporte en el inventario estatal y la urgencia de actualizar periódicamente estas cifras. Además, la tasa de motorización en la ZMTX crece a la par de su población, al igual que lo observado a nivel nacional, donde se incrementó un 40% entre 2010 y 2020 (INEGI, 2020).

Comparando estos hallazgos con la literatura, estudios como el de Caballero (2011) y Tipanluisa et al. (2017) confirman que las emisiones dependen no solo del volumen de vehículos, sino de su velocidad, octanaje del combustible y temperatura. En cambio, Vargas y Molina (2015) destacan que gases como el N₂O pueden aumentar con la velocidad y el contenido de azufre en el combustible, lo cual también debe ser considerado en políticas de mitigación.

4. Conclusiones

Los resultados de esta investigación confirman la hipótesis de que el parque vehicular registrado en la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco (ZMTX) genera un volumen de emisiones de gases de efecto invernadero

(GEI) significativamente superior al reportado en el inventario estatal de 2012. La estimación total de 516.84 Gg de CO₂ equivalente para el año 2020 representa un incremento del 42.4 % respecto a las 362.9 Gg reportadas en el PACCNAY, evidenciando una subestimación histórica del impacto del sector transporte y una falta de actualización de los diagnósticos técnicos en la región.

Del total de las emisiones estimadas, el dióxido de carbono (CO₂) constituyó el 98.7 %, lo que reafirma la centralidad de este gas en los procesos de combustión vehicular. El uso predominante de gasolina (97 %) y la elevada antigüedad del parque vehicular (35 % con entre 20 y 25 años) contribuyen de forma crítica a este fenómeno, lo cual sugiere que la renovación tecnológica del transporte y la mejora de la eficiencia energética son líneas clave de acción.

Desde un enfoque de sostenibilidad, los hallazgos muestran que el modelo actual de movilidad urbana en la ZMTX no es compatible con un desarrollo bajo en carbono. Pese a la cobertura del transporte público, el uso del automóvil privado continúa siendo la opción dominante, lo que limita los avances hacia una movilidad accesible, segura y ambientalmente responsable. Esta situación compromete no solo el cumplimiento de metas climáticas, sino también la calidad de vida urbana.

Esta investigación aporta una innovación metodológica al aplicar los lineamientos del IPCC para el cálculo de emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O a escala metropolitana, integrando una caracterización precisa del parque vehicular y estimaciones energéticas basadas en datos locales.

Se concluye que la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco requiere con urgencia estrategias integrales de mitigación climática que incluyan:

- La actualización del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Nayarit.
- La creación y aprobación de una Ley Estatal de Cambio Climático que establezca instrumentos vinculantes de mitigación y adaptación.
- La implementación de políticas estatales de verificación vehicular.
- La promoción de tecnologías de transporte limpio (híbrido y eléctrico).
- La mejora de la infraestructura vial y la movilidad no motorizada.
- La actualización periódica del inventario de emisiones con enfoque territorial.

Finalmente, este estudio demuestra que es posible generar diagnósticos técnicos con rigor metodológico a nivel subnacional, lo cual resulta fundamental para construir políticas públicas basadas en evidencia y orientar la transición hacia ciudades más sostenibles, resilientes y justas.

5. Referencias

- BBVA Research. (2024). *Informe de sostenibilidad ambiental y emisiones de México*. BBVA.
- Caballero, A. (2011). *Factores que influyen en la emisión de CO² del transporte*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cruz, J. (2018). *Análisis de la eficiencia de motores automotrices*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP). (2012). *Movilidad urbana y cambio climático en México*. <https://mexico.itdp.org>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014, 2015, 2016, 2020, 2021). *Anuario estadístico de transporte y movilidad*. <https://www.inegi.org.mx>
- Instituto Municipal de Planeación de Tepic (IMPLAN). (2018, 2019). *Informe de desarrollo urbano de la Zona Metropolitana Tepic-Xalisco*. <https://implan.tepic.gob.mx>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- Serafín, J. (2019). *Diagnóstico de emisiones del transporte público en Tepic*. Universidad Autónoma de Nayarit.
- Tipanluisa, D., Rojas, A., & Pérez, L. (2017). Relación entre velocidad vehicular y emisiones contaminantes. *Revista Ingeniería Ambiental*, 34(2), 75-88.
- Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) & Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2012). *Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Nayarit (PACCNAY)*.

- Vargas, R., & Molina, F. (2015). Efectos del azufre y la velocidad en la emisión de N₂O. *Revista de Ciencias Ambientales*, 29(1), 55–66.
- Vazano, P. (2022). El transporte como fenómeno social. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos*, 19(1), 12-27.

