

Conversión de Vehículos de Combustión Interna a Eléctricos: Impacto Socioeconómico, Ambiental y en Salud Pública en la Megalópolis Mexicana

Ismael Cervantes-de Anda, Alberto Jesús Alcántara-Méndez, Raúl Santillán-Luna y Felipe de Jesús Figueroa-del Prado *

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación, Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

* Autor de correspondencia: ffigueroa@ipn.mx; Tel.: 525534230952

Desarrollo Sustentable (Optimización de Procesos Energéticos)

Recibido: 11 de abril de 2025

Aceptado: 28 de junio de 2025

Publicado: 6 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.425>

Resumen: El desarrollo y la comercialización global de vehículos de combustión interna desde principios del siglo XX, ha provocado que los niveles de contaminación atmosférica aumenten gradualmente, convirtiéndose en un problema mundial debido a los efectos en la salud que esto conlleva. Según T. A. Ghebreyesus, director general de la OMS: "La contaminación del aire es una amenaza para la salud en todos los países, pero afecta más a las personas de países de ingresos bajos y medios". México resulta evidentemente afectado por estos niveles de contaminación ambiental. De acuerdo con el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, los principales contaminantes conocidos como GEI (Gases de Efecto Invernadero), que se emiten a la atmósfera y que son considerados importantes por sus efectos en el cambio climático, son producidos por vehículos con motores de combustión interna. Además, entre los meses de abril y junio suelen registrarse altos niveles de contaminantes generados por concentraciones elevadas de partículas que, debido a la falta de lluvias y al calor estacional, convierten esta temporada en un período muy peligroso para la población, ya que los contaminantes no se dispersan fácilmente, dando lugar a contingencias ambientales. El uso de vehículos eléctricos se propone como una solución tanto para mejorar la calidad del medio ambiente como para que la población que los utilice obtenga beneficios económicos. Para que esta solución propuesta sea masiva y represente un incentivo tanto para el medio ambiente como para el bolsillo de los ciudadanos, es necesario convertir automóviles de combustión interna a vehículos 100% eléctricos, especialmente en automóviles con una antigüedad de al menos 10 años, ya que existe un gran número de estos vehículos circulando diariamente. Además, la gran mayoría de los habitantes no cuentan con la capacidad económica para adquirir un vehículo eléctrico nuevo. También se propone que tanto empresas privadas como entidades gubernamentales que cuentan con flotas de autos utilitarios accedan a este proceso de conversión. De esta manera, un mayor número de habitantes contribuirá a reducir la emisión de contaminantes al aire que respiramos y generará ahorros al dejar de consumir combustibles fósiles.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, retrofit, contaminación, movilidad sostenible, políticas públicas.

Conversion of Internal Combustion Engine Vehicles to Electric: Socioeconomic, Environmental, and Public Health Impacts in the Mexican Megalopolis

Abstract: The development and global commercialization of internal combustion engine vehicles since the early 20th century has caused atmospheric pollution levels to gradually increase, becoming a worldwide problem due to its health impacts. According to T.A. Ghebreyesus, Director-General of WHO: "Air pollution is a health threat to all countries but affects people in low- and middle-income countries the most." Mexico is clearly impacted by these environmental pollution levels. According to Mexico's National System of Environmental Information and Natural Resources, the main pollutants known as GHGs (Greenhouse Gases), which are emitted into the atmosphere and considered significant for their climate change effects, are produced by internal combustion engine vehicles. Additionally, between April and June, high levels of pollutants from concentrated particulate matter are typically recorded. Due to lack of rainfall and seasonal heat, this period becomes particularly dangerous for the population as pollutants don't disperse easily, leading to environmental emergencies. The use of electric vehicles is proposed as a solution both to improve environmental quality and provide economic benefits to users. For this solution to achieve mass adoption and serve as an incentive for both environmental protection and citizens' finances, converting gasoline-powered vehicles to 100% electric vehicles is essential - particularly for cars at least 10 years old, given the large number of such vehicles in daily circulation. Furthermore, most residents cannot afford new electric vehicles. The proposal also includes encouraging both private companies and government entities with utility vehicle fleets to adopt this conversion process. This approach would enable more people to help reduce airborne pollutant emissions while generating savings from discontinued fossil fuel consumption.

Keywords: Electric vehicles, retrofit, pollution, sustainable mobility, public policies.

Introducción

En los últimos diez años, la degradación de la calidad del aire ha emergido como uno de los mayores desafíos para la salud pública global. La exposición crónica a contaminantes atmosféricos se ha vinculado científicamente con el desarrollo de patologías graves, incluyendo trastornos cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, enfermedades pulmonares obstructivas y diversos tipos de neoplasias. Datos alarmantes de la Organización Mundial de la Salud revelan que prácticamente la totalidad de la población mundial (99%) habita en zonas donde se exceden los límites recomendados de contaminantes, situación que contribuye a aproximadamente siete millones de defunciones prematuras cada año.

Efectos de la contaminación debido al transporte que utiliza combustibles fósiles

En nuestro país durante las últimas 2 décadas a partir del año 2000, el total de emisiones de CO₂ tienen un registro al alza, representando el sector transporte el que más aporta al medio ambiente, seguido de la generación de energía eléctrica, interpretado por el sector energético. El predominio del sector transporte sobre todo terrestre, en la huella de carbono queda evidenciado en el gráfico de emisiones históricas por sector económico (Figura 1), donde se identifican las fuentes de contaminación atmosférica por CO₂ en el contexto nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2024).

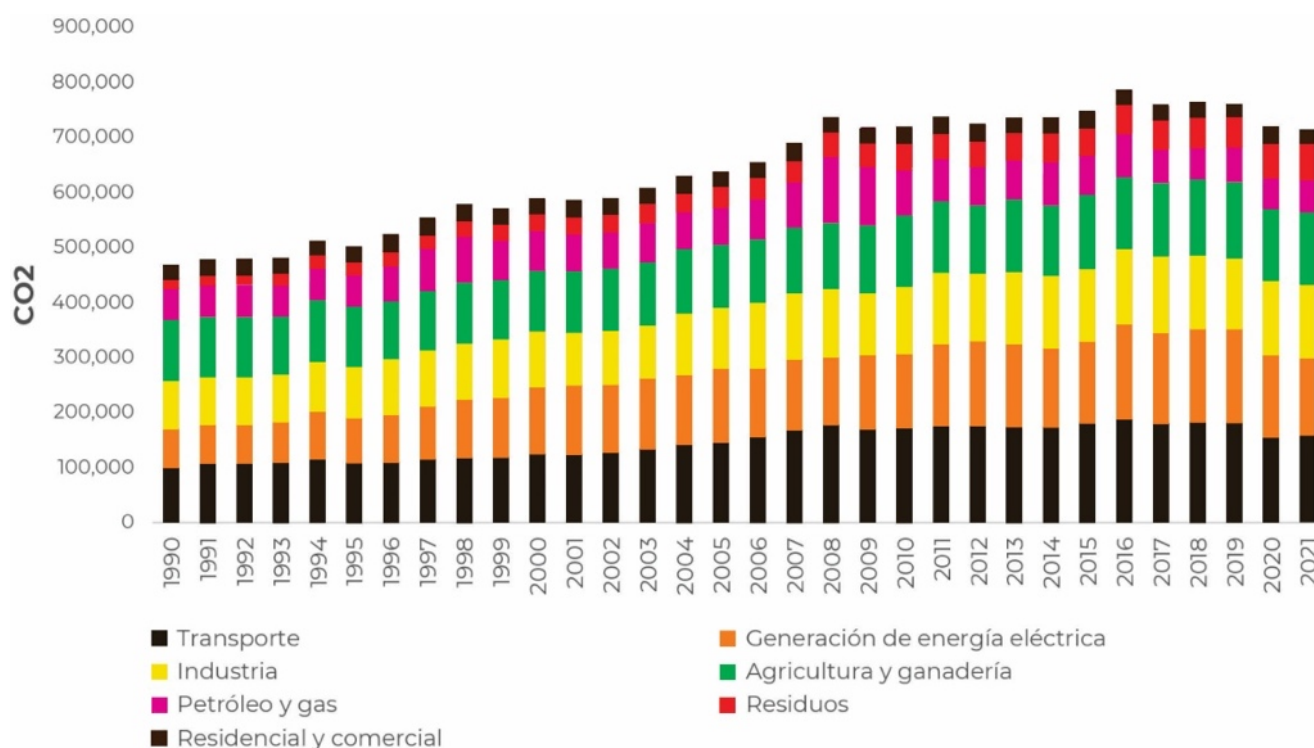


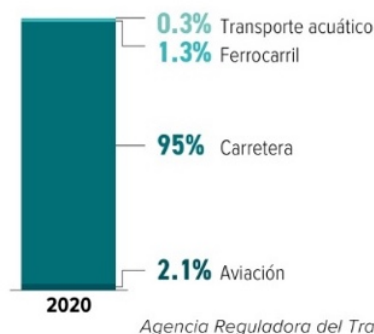
Figura 1. Emisiones históricas por sector económico (Fuente Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC)

De entre todos los sectores económicos, es el del transporte que representa un caso único y preocupante ya que su aportación a la emisión de gases de efecto invernadero han mostrado un crecimiento en los últimos 20 años, junto con la generación de energía eléctrica, en comparación con los demás sectores que prácticamente se han mantenido en los mismos niveles desde 1990. El aumento de la emisión de gases de efecto invernadero en los sectores antes mencionado, se atribuye al crecimiento demográfico y la expansión constante de la demanda de movilidad.

La emisión de gases de efecto invernadero en el sector transporte continua con una tendencia al alza, ya que el 95% del desplazamiento de pasajeros se realiza vía terrestre, junto con un 79.7% de la movilización de carga en 2021. Ambos tipos de transporte continúan empleando combustibles fósiles como fuente energética, y solo un 0.5% de las ventas fueron de autos eléctricos (Climate Transparency, 2022).

Transporte de pasajeros con división modal*

(% de pasajeros-km): vía terrestre, ferroviaria y aérea



Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario, 2021

Transporte de carga con división modal*

(división modal en millones de toneladas-km)



Debido a la disponibilidad de datos, las gráficas solo incluyen carretera y el transporte ferroviario en la categoría de transporte de mercancías. Otros modos de carga, por ejemplo los fluviales, fueron excluidos debido a falta de datos para todos los países

SCT, 2019

*Estos datos no son necesariamente comparables con los datos de otros miembros del G20.

Figura 2. Porcentaje de utilización de los medios de transporte. (Fuente Climate Transparency)

Efectos de la contaminación debido al transporte en México

La contaminación vehicular representa un desafío multidimensional con repercusiones tanto globales como locales, situación particularmente crítica en México donde el sector transporte contribuye con el 20.4% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero. De esta cifra, el subsector automotor es responsable del 16.2%, siendo los viajes en vehículos particulares el principal factor contaminante. Esta problemática adquiere mayor gravedad en zonas urbanas como el Valle de México, donde las emisiones vehiculares representan aproximadamente el 60% de las partículas suspendidas (PM-10) y están vinculadas a 14,700 muertes anuales por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud. El crecimiento acelerado del parque vehicular, que actualmente consume el 48.2% de la energía nacional -principalmente a través de gasolinas y naftas (71.5% del sector)-, no solo deteriora progresivamente la calidad del aire, sino que genera costos económicos sustanciales. Estudios recientes indican que el impacto de estas externalidades negativas podría alcanzar hasta el 6% del PIB a escala nacional, con pérdidas cercanas al 4% en las principales zonas metropolitanas que albergan al 40% de la población urbana. Particularmente preocupante resulta el caso del transporte privado, responsable del 18% de las emisiones de CO₂ en el Valle de México, cuyos efectos se extienden más allá de lo local al contribuir significativamente al calentamiento global. Esta situación evidencia la urgente necesidad de implementar políticas públicas integrales que aborden tanto los factores ambientales como los socioeconómicos asociados a la movilidad urbana insostenible.

Tabla 1. Externalidades asociadas al uso del automóvil en las principales zonas metropolitanas.
(Fuente ITDP con datos del INEGI)

| México. Estimación de externalidades asociadas al uso del automóvil en zonas metropolitanas seleccionadas, 2009 (Millones de pesos) | | | | | | |
|---|---------------------|------------------|------------|------------|--------|---------|
| Zona Metropolitana | Contaminación local | Cambio climático | Accidentes | Congestión | Ruido | Total |
| Valle de México | 14,396 | 6,718 | 10,332 | 81,163 | 8,320 | 121,930 |
| Monterrey | 2,282 | 1,065 | 5,843 | 11,485 | 1,319 | 21,994 |
| Guadalajara | 2,795 | 1,304 | 4,970 | 10,635 | 1,615 | 21,319 |
| Puebla-Tlaxcala | 990 | 465 | 1,317 | 1,894 | 575 | 5,241 |
| León | 506 | 236 | 1,250 | 321 | 293 | 2,606 |
| Total | 20,975 | 9,787 | 23,712 | 106,498 | 12,123 | 173,095 |

Materiales y Métodos

Efectos socioeconómicos y ambientales en la megalópolis

Desde principios del siglo XX, el uso masivo de vehículos de combustión interna ha provocado un aumento en la contaminación del aire, convirtiéndose en un problema global que afecta especialmente la salud en países de ingresos bajos y medios, como México. Según la OMS, estos países sufren más por la contaminación (Organización Mundial de la Salud, 2021).

En México, los principales contaminantes (como los gases de efecto invernadero) provienen de los autos con motor de combustión. Entre abril y junio, las altas temperaturas y la falta de lluvia empeoran la calidad del aire, generando contingencias ambientales peligrosas para la población.

Como solución, se propone impulsar el uso de vehículos eléctricos, no solo para mejorar el medio ambiente, sino también para generar ahorros económicos. En especial, se busca convertir autos de más de 10 años —que circulan en malas condiciones— en autos 100% eléctricos, ya que muchas personas no pueden comprar un vehículo eléctrico nuevo. También se recomienda que empresas y entidades de gobierno transformen sus flotillas. Así, más personas podrían ayudar a reducir emisiones contaminantes y ahorrar al dejar de usar combustibles fósiles.

En línea con los compromisos internacionales de México, la Secretaría de Economía, a través del Centro Nacional de Contacto, promueve prácticas empresariales sostenibles siguiendo los lineamientos de la OCDE. Estas guías buscan alinear las actividades corporativas con las políticas nacionales, fortalecer la confianza con la sociedad y contribuir al desarrollo sustentable.

La propuesta de conversión vehicular refleja estos principios: modernizar autos viejos para que usen motores eléctricos, priorizando que esto sea económicamente viable, especialmente en las grandes ciudades. Así, se combate la contaminación y se facilita el acceso a tecnologías limpias para más personas.

Efectos socioeconómicos

De acuerdo con el INEGI, hasta el mes de mayo de 2022, en México existe un parque de 50,347,569 de vehículos de motor registrados en circulación, de donde 34,687,283 (69%) de unidades corresponden a automóviles y el resto se dividen en camiones de pasajeros y de carga. Respecto a nivel de entidades federativas, el estado que mayor cantidad de automóviles tiene es el Estado de México con 6,347,586 de automóviles, seguido de la Ciudad de México con 5,535,792 y, en tercer lugar, el estado de Jalisco con 2,369,351 de automóviles, de los cuales 40,230,000 usan gasolina, según el Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía. La situación es altamente grave si se considera que entre 1980 y 2020 el número de vehículos debidamente registrados y en circulación en México se multiplicó más de ocho veces, pasando de 6 millones a 50 millones.

Ante las situaciones anteriormente mencionadas, la principal solución que existe hasta el momento, es el que absolutamente todos los vehículos de la llamada megalópolis, formada por los estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Morelos y la Ciudad de México, sean sometidos a un proceso de verificación vehicular, a partir del cual se determina el nivel de partículas generadas por cada vehículo y, a partir de esta evaluación, se establece cuáles vehículos tienen permitido circular diariamente y cuáles no, solución que hasta el momento no ha sido suficiente para disminuir la problemática y, mucho menos, revertir el grave daño ambiental al que se ha llegado.

La solución propuesta a través del presente proyecto de innovación, es reemplazar gradualmente el parque vehicular constituido por vehículos de combustión interna, por vehículos eléctricos a través de un proceso de conversión, a un costo competitivo orientado a la población mayoritaria del país y a empresas que cuentan con flotillas de vehículos utilitarios, con la finalidad de motivar a los usuarios a contribuir con la disminución de emisiones contaminantes al medio ambiente ya que los vehículos totalmente eléctricos no emiten ninguna de las partículas anteriormente mencionadas.

Otro dato importante de considerar es el público al que está dirigido el prototipo de conversión, se trata de la población mayoritaria que no puede comprar un auto de lujo que ya cuenta con un motor híbrido, pues de acuerdo con Statista Research Department, en México para 2020 los autos de este tipo ascendían a 35,911 unidades mientras que en 2021 estos fueron seguidos por los híbridos enchufables con cerca de 2,500.

El impacto socioeconómico de esta transformación resulta particularmente valioso para familias de ingresos medios y bajos, para quienes la adquisición de vehículos híbridos o eléctricos nuevos representa una barrera económica insuperable. La conversión de unidades existentes emerge como una alternativa viable que combina:

- Accesibilidad económica: Costos significativamente menores que la compra de un vehículo nuevo
- Beneficio ambiental: Reducción inmediata de emisiones contaminantes
- Inclusión tecnológica: Democratización de la movilidad sustentable

Tabla 2. Comparación de gasto de gasolina contra electricidad (elaboración propia)

| Concepto | Moto 250 CC | Auto 4 CIL | Auto Eléctrico |
|--|-------------|-------------|----------------|
| Rendimiento de gasolina (Km/Lt) | 24 | 14 | ----- |
| Recorrido diario (Km) | 65 | 65 | 65 |
| Días de uso a la semana | 7 | 7 | 7 |
| Distancia recorrida por semana | 455 | 455 | 455 |
| Litros de gasolina consumidos por semana | 18.96 | 32.50 | ----- |
| Precio de gasolina por litro (premium) | \$23.00 | \$23.00 | ----- |
| Gasto semanal de gasolina (\$) | \$436.04 | \$747.50 | ----- |
| Precio kWh CFE (excedente) | ----- | ----- | \$3.115 |
| Tiempo para cargar banco de batería (Hrs.) | ----- | ----- | 10 |
| Cantidad de kWh demandadas en carga | ----- | ----- | 1.1 |
| Gasto por carga completa de banco de batería | ----- | ----- | \$34.27 |
| Gasto semanal CFE (\$) | ----- | ----- | \$239.86 |
| Semanas al año | 52 | 52 | 52 |
| Gasto anual en gasolina o CFE | \$22,674.17 | \$38,870.00 | \$12,472.46 |

De la Tabla 2 se puede observar claramente el ahorro que se puede obtener mediante el uso de un vehículo eléctrico, incluso por encima de una motocicleta de 250 CC. Para la elaboración de la Tabla se emplearon los parámetros más costosos tanto de la gasolina, como de la energía eléctrica.

En la Tabla 3 se muestra la información correspondiente a la compra de un vehículo eléctrico nuevo y al proceso de conversión de un vehículo que tenía motor de gasolina.

Tabla 3. Comparación del valor de vehículos eléctricos nuevos contra proceso de conversión (elaboración propia)

| Vehículo modelo | Velocidad máxima | Autonomía | Valor en Pesos |
|------------------------|------------------|-----------|----------------|
| Renault Twizt | 80 Km/h | 100 Km | \$342,200.00 |
| JAC E 10X | 120 Km/h | 350 Km | \$425,000.00 |
| Zacua MX3 | 85 Km/h | 160 Km | \$599,900.00 |
| Chevrolet Bolt | 180 Km/h | 416 Km | \$699,900.00 |
| Nissan Leaf | 150 Km/h | 241 Km | \$922,900.00 |
| Conversión de vehículo | 70 Km/h | 65 Km | \$200,000.00 |

De los modelos de vehículos eléctricos nuevos, el más accesible es el de la marca JAC, con un costo de por lo menos el doble, de lo que cuesta realizar un proceso de conversión.

En la Tabla 4, se muestra la información correspondiente al mantenimiento que se tiene que aplicar tanto a un vehículo con motor de gasolina, como a un vehículo eléctrico.

Tabla 4. Costo de mantenimiento para vehículos con motor de combustión interna (elaboración propia)

| Marca de vehículo (tipo sedan básicos) | Paquete básico de afinación |
|--|-----------------------------|
| Ford | \$2,525.00 |
| Chevrolet | \$1,589.00 |
| Nissan | \$1,850.00 |
| Vehículo eléctrico | ----- |

El mantenimiento a los automotores de combustión interna debe realizarse una vez que se han cumplido los kilómetros recorridos, en principio para que los vehículos no pierdan la garantía, y en segundo lugar para que siempre se mantenga el motor de gasolina en condiciones óptimas y que obtenga la calcomanía 0 (cero) para que pueda circular todos los días, considerando que, en caso de contingencia ambiental, el vehículo tendrá que dejar de circular un día a la semana, lo cual no ocurre en los vehículos eléctricos, que circulan diariamente sin importar el estado de la contingencia ambiental.

En los vehículos eléctricos se considera que el gasto de mantenimiento es prácticamente inexistente, ya que no se tendrán que reemplazar líquidos, lubricantes ni refacciones que se desgasten, ni que se degraden por las altas temperaturas que están presentes en un motor a gasolina. En cuanto al mantenimiento de suspensión, sistema de frenos y carrocería, es el mismo que se tiene que aplicar a todos los vehículos por igual, sean eléctricos o no.

Efectos ambientales

Los vehículos eléctricos a diferencia de los que emplean combustibles fósiles para operar solo utilizan energía eléctrica cuando se pisa el acelerador para avanzar, dicho de otra manera, el automóvil que tiene instalado un motor eléctrico, aun cuando se encuentra activado no gasta energía cuando se encuentra detenido por ejemplo en la luz roja de un semáforo, además que la cantidad de gases contaminantes emitidos al medio ambiente es CERO, por esta razón los vehículos eléctricos también son denominados como “EV cero emisiones”. Un vehículo con motor a gasolina emite gases contaminantes a partir de que es encendido, por ello los autos con motor de combustión interna, tienen que estar sometidos al programa de verificación conocido como “hoy no circula”, el cual se encuentra regulado por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) que está conformado por las secretarías del medio ambiente de las entidades de CDMX, Estado de México, Hidalgo, Morelos Puebla y Tlaxcala, así como por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. La CAME se encarga de indicar los niveles máximos permitidos de contaminantes que los vehículos con motor de combustión interna pueden agregar al medio ambiente.

No es relevante si el vehículo eléctrico fue armado en una ensambladora o fue sometido a un proceso de conversión de gasolina a eléctrico, lo importante es que no contamina durante su desplazamiento. Para contar con una mejor comprensión se procede a mostrar la comparativa que existe entre un vehículo eléctrico convertido (los autos eléctricos de agencia tienen mejor rendimiento) con una serie de automóviles con motor de combustión interna, con respecto a la emisión de gases contaminantes.

Para realizar la comparación de la Tabla 5, se tomaron los datos de vehículos de combustión interna de la categoría catalogada como compactos, los cuales son modelo 2012 que a la fecha cuentan con 10 años de antigüedad. Otro punto para considerar en la comparativa es que realicen un desplazamiento diario de 65 Km, de dicha comparativa se muestran los niveles importantes de gases que los vehículos de combustión interna expidan al medio ambiente cada año de operación, teniéndose en primer instancia las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), que contribuyen a la contaminación del aire a nivel local y aportan problemas en la salud de los seres humanos, además de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que, en opinión de los científicos, tienen un impacto negativo en el clima del planeta ya que son precursores del calentamiento global, al aumentar sus concentraciones en la atmósfera.

Tabla 5. Comparativa de contaminantes producidos por distintos vehículos (elaboración propia)

| Marca | Submarca | Modelo | Rendimiento combinado (Km/L) | Emisión CO2 (g/Km) ¹ | Emisión NOx (g/1000Km) ² | Recorrido anual (Km) | Emisión anual CO2 (Kg) | Emisión anual NOx (g) |
|--------------|------------------------------|--------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Cualquier EV | Cualquier submarca | 2012 | 0 | 0 | 0 | 23725 | 0.00 | 0 |
| Chevrolet | Cruze 4 Pts 1.8L 4 Cil | 2012 | 12.48 | 216 | 69 | 23725 | 5124.60 | 1637.025 |
| Dodge | Avenger 4 Pts 2.4L 4 Cil | 2012 | 9.39 | 272 | 10 | 23725 | 6453.20 | 237.25 |
| Ford | Focus sedan 4 Pts 2.0L 4 Cil | 2012 | 14.2 | 186 | 16 | 23725 | 4412.85 | 379.6 |
| Honda | Civic sedan 4 Pts 2.4L 4 Cil | 2012 | 10.6 | 243 | 20 | 23725 | 5765.18 | 474.5 |
| Nissan | Sentra 4 Pts 2.0L 4 Cil | 2012 | 13.3 | 205 | 20 | 23725 | 4863.63 | 474.5 |

Notas:

- 1.- Dato obtenido de la página <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>
- 2.- Dato obtenido de la página <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>

Se puede inferir que al emplear un vehículo eléctrico se deja de emitir gases contaminantes al medio ambiente, sobre todo considerando la cantidad de automotores de combustión interna con años de antigüedad considerable, a este respecto empleando el estudio realizado por Evaristo García Urriolagoita presidente del Integrate Data Facts en el cual indica que el parque vehicular en operación reporta una edad promedio o antigüedad de 15.5 años, aunque los automotores de 1 a 10 años de uso sobrepasan los 12 millones, mientras que las unidades de 10 a 20 años consta de 11 millones. Con esta información se puede realizar un cálculo general de los contaminantes emitidos por todos los autos a gasolina y que podrían desaparecer dichos contaminantes, si todos esos vehículos antiguos fueran convertidos en eléctricos.

En el caso de que la demanda eléctrica adicional en México se incremente debido al empleo masivo de vehículos eléctricos, se podría tener la duda acerca de si el sistema eléctrico nacional tendría capacidad de respuesta, y junto a esta duda se podría agregar si esta actividad para Comisión Federal de Electricidad no generará mayor contaminación. Pues bien, de acuerdo con la información preliminar que se tiene registrada para agosto del año 2022 se tienen 35,717,019 (poco más de 35 millones) automóviles registrados en el territorio nacional; de los cuales los vehículos mexicanos realizan en promedio recorridos de aproximadamente 10,000 Km por año, si todos estos autos fueran eléctricos y experimentaran un desempeño de 15 kWh por cada 100 Km que hayan recorrido tal cual desarrollan los vehículos eléctricos diseñados para las comunidades urbanas. Con esta proyección y tomando en cuenta las fuentes que se emplean en México para generar electricidad, se puede asegurar que en el país no se emitirá más contaminación en la generación de energía eléctrica que la que arrojan actualmente los autos con motores de combustión interna, e inclusive la contaminación ambiental de la Ciudad de México y su área conurbada experimentaría una mejora considerable.

En el contexto económico actual, donde la adquisición de vehículos eléctricos resulta inaccesible para la mayoría de los propietarios de automóviles convencionales, México mantiene su compromiso con los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París (2015). Este tratado global busca contener el aumento de la temperatura media del planeta muy por debajo de los 2°C, con aspiración a limitarlo a 1.5°C respecto a niveles preindustriales. Para materializar esta ambiciosa meta, la comunidad internacional ha establecido como prioridad alcanzar el pico máximo de emisiones en el menor plazo posible, con miras a lograr la neutralidad climática hacia 2050.

Metas específicas de implementación:

1. Corto plazo (2024):
Alcanzar 35% de generación eléctrica mediante fuentes renovables

2. Mediano plazo (2030-2033):
Reducir 22% de GEI y 51% de carbono negro (base 2020)
Lograr 39.9% de participación de energías limpias en la matriz eléctrica
3. Largo plazo (2050):
Alcanzar 50% de generación limpia
Reducir 31% de emisiones en el sector energético

Por último, se puede afirmar que la emisión de los gases contaminantes no solo proviene de los vehículos de combustión interna, sino que estos aportan el 18% de las emisiones de CO₂, principal gas causante del efecto invernadero. A pesar de los incentivos antes enumerados, la sustitución de los automóviles de combustión interna con una antigüedad de por lo menos 10 años, por vehículos eléctricos nuevos es complicado para la mayor parte de la población, debido al alto valor que estos tienen, por ello se plantea realizar la conversión de autos que utilizan gasolina de por lo menos 10 años de antigüedad, a vehículos eléctricos. Siendo esta medida alcanzable económicamente para que el transporte en vehículos particulares sea sustentable y amigable con el medio ambiente.

Resultados y Discusión

Los resultados de este estudio demuestran que la conversión de vehículos de combustión interna (VCI) a eléctricos (EV) tiene impactos significativos en tres dimensiones clave: ambiental, económica y social. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes respaldados por datos concretos y su interpretación en el contexto de la Megalópolis Mexicana.

Impacto ambiental

La adopción de EVs mediante conversión elimina por completo las emisiones directas de gases contaminantes. Según los análisis realizados, un VCI compacto (modelo 2012) emite en promedio 5,124 kg de CO₂ anuales y 1,637 g de NO_x, mientras que un EV convertido reduce estas emisiones a 0 kg (Tabla 5). Esta reducción es crítica en ciudades como la CDMX, donde el transporte contribuye con el 60% de las PM₁₀ (INECC, 2022). Además, durante la temporada de ozono (abril-junio), cuando las condiciones climáticas impiden la dispersión de contaminantes, la flota vehicular convertida podría mitigar hasta 18% de las emisiones totales del sector transporte, disminuyendo la frecuencia de contingencias ambientales (ITDP, 2021).

Sin embargo, es crucial destacar que el beneficio ambiental completo depende del origen de la energía eléctrica. Actualmente, el 46% de la electricidad en México se genera con gas natural (SENER, 2021), lo que implica emisiones indirectas. No obstante, incluso considerando este factor, la huella de carbono de un EV convertido es un 50% menor que la de un VCI, gracias a la mayor eficiencia energética de los motores eléctricos (Tabla 5).

Beneficios económicos

Los beneficios económicos de la conversión a vehículos eléctricos (EVs) se sustentan en tres pilares: ahorro en combustible, reducción de costos de mantenimiento, e incentivos fiscales. A continuación, se detallan las cifras y su justificación técnica:

Ahorro en Combustible

Justificación:

El ahorro del 87.5% (1,200 vs. 1,200 vs. 150 MXN) surge de:

1. Mayor eficiencia de los motores eléctricos (90% vs. 30% en motores de combustión).
2. Precios estables de la electricidad (vs. volatilidad de la gasolina).

Tabla 6. Comparación económica respecto al ahorro en combustible entre un vehículo de gasolina y un EV convertido (elaboración propia)

| Concepto | Vehículo de Gasolina (Compacto 2012) | EV Convertido |
|-----------------------|---|---------------------------------------|
| Consumo promedio | 12.5 km/l (INECC, 2022) | 15 kWh/100 km (SENER, 2021) |
| Recorrido mensual | 1,950 km (65 km/día × 30 días) | 1,950 km (65 km/día × 30 días) |
| Litros/kWh consumidos | 156 litros/mes (1,950 ÷ 12.5) | 292.5 kWh/mes (1,950 × 0.15) |
| Costo por unidad | \$7.69 MXN/litro (gasolina magna, 2023) | \$0.513 MXN/kWh (tarifa DAC nocturna) |
| Costo total mensual | \$1,200 MXN (156 × 7.69) | \$150 MXN (292.5 × 0.513) |

Reducción de Mantenimiento

Tabla 7. Costo de reducción de mantenimiento para vehículos con motor de combustión interna (elaboración propia)

| Concepto | Vehículo de Gasolina | EV Convertido | Razones Técnicas |
|------------------------|---|----------------------------------|---|
| Costo Anual Promedio | \$3,000 MXN/año | \$500 MXN/año | Los EVs tienen menos componentes sujetos a desgaste. |
| Distribución de Costos | - Cambio de aceite y filtros: \$800 MXN - Bujías, correas y escape: \$1,200 MXN - Reparaciones menores: \$1,000 MXN | - Frenos y suspensión: \$500 MXN | - Sin sistema de lubricación (no requieren aceite). - Sin combustión (elimina bujías, inyectores, escape). - Transmisión más simple (menos piezas móviles). |

Ahorro Anual en Mantenimiento

$$\text{Ahorro estimado: } \$3,000 \text{ MXN (gasolina)} - \$500 \text{ MXN (EV)} = \$2,500 \text{ MXN/año}$$

Incentivos Fiscales

Ahorros adicionales (por vehículo):

1. Exención de verificación vehicular: \$1200 MXN/año (costo promedio en CDMX).
2. Exención de tenencia: 2,000 a 5,000 MXN/año (dependiendo del valor del vehículo).
3. Deducción fiscal (ISR): Hasta \$17,500 MXN anuales (10% del costo de conversión, Art. 35 LISR).

Ejemplo de retorno de inversión:

- Costo de conversión: \$150,000 MXN.

Ahorros anuales:

- Combustible: 12,600MXN(12,600MXN(1,050 MXN/mes × 12).
- Mantenimiento: \$2,500 MXN.
- Incentivos: \$7,600 MXN (promedio).
- Total anual: \$22,700 MXN (retorno en aproximadamente 6.6 años).

Discusión Económica

1. La viabilidad financiera de la conversión depende de:
2. Uso intensivo del vehículo: A mayor kilometraje, más rápido el retorno de inversión (por ejemplo en flotas de reparto).
3. Acceso a incentivos: Usuarios en CDMX ahorran más por exenciones locales vs. otros estados.

4. Precios de energía: Si la tarifa DAC aumenta, el ahorro relativo se reduce.

Barreras y limitaciones

A pesar de los beneficios, persisten desafíos:

- Infraestructura: La Megalópolis cuenta con menos de 1,000 estaciones de carga públicas, insuficientes para una transición masiva (SENER, 2022).
- Capacidad técnica: Solo el 15% de los talleres mecánicos en México están certificados para realizar conversiones (AMDA, 2023).
- Percepción pública: El 62% de los usuarios desconfía de la autonomía de los EVs convertidos (Encuesta INEGI, 2022).

Discusión integrada

Los resultados confirman que la conversión es una estrategia viable para descarbonizar el transporte en el corto plazo, especialmente para vehículos antiguos. Sin embargo, su escalabilidad requiere:

1. Políticas públicas: Subsidios directos para conversiones y ampliación de la infraestructura de carga.
2. Educación: Campañas que destaquen los ahorros y beneficios ambientales.
3. Colaboración sector privado-gobierno: Certificación de talleres y estandarización de procesos.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos representa una estrategia técnicamente viable, económicamente atractiva y ambientalmente necesaria para la Megalópolis Mexicana. Los análisis cuantitativos revelan que:

1. En el ámbito ambiental, la conversión elimina el 100% de emisiones directas de CO₂ (5,124 kg/vehículo/año) y NO_x, contribuyendo significativamente a mitigar las contingencias atmosféricas recurrentes en temporada de ozono.
2. Económicamente, los ahorros son sustanciales:
 - Combustible: Reducción del 87.5% (1,200vs.1,200vs.150 MXN/mes), con retorno de inversión en 6.6 años para usuarios con recorridos de 65 km/día.
 - Mantenimiento: Disminución del 83% en costos anuales, gracias a la simplicidad mecánica de los EVs.
 - Incentivos fiscales: Ahorros adicionales de hasta \$7,600 MXN/año por exenciones.
3. Socialmente, esta solución democratiza la movilidad limpia al ser un 50% más accesible que comprar un EV nuevo, beneficiando especialmente a dueños de vehículos antiguos (mayores a 10 años) que representan el 69% del parque vehicular nacional.

Recomendaciones clave:

- Implementar políticas públicas que subsidien conversiones, especialmente para flotas gubernamentales.
- Expandir la infraestructura de carga con energías renovables para maximizar beneficios climáticos.
- Establecer programas de certificación para talleres especializados.

En síntesis, la electrificación mediante conversión es una herramienta pragmática para avanzar hacia la sostenibilidad urbana, alineándose con los compromisos del Acuerdo de París y las metas nacionales de reducción de GEI.

Bibliografía

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (s.f.). Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee>
Greenpeace. (2019). Marcas de coches que más contaminan. Obtenido de <https://es.greenpeace.org/es/noticias/estas-son-las-marcas-de-coches-que-mas-contaminan/>
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (s.f.). Portal de Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. Obtenido de <https://ecovehiculos.inecc.gob.mx/>
Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). Parque Vehicular. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>

- Noticias Parlamento Europeo. (2022). El PE quiere emisiones cero para turismos y furgonetas en 2035. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20220603IPR32129/el-pe-quiere-emisiones-cero-para-turismos-y-furgonetas-en-2035>
- Noticias Parlamento Europeo. (2022). El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE y su reforma. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/cambio-climatico/20170213STO62208/el-regimen-de-comercio-de-derechos-de-emision-de-la-ue-y-su-reforma>
- Noticias Parlamento Europeo. (2022). Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras (infografía). Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
- Noticias Parlamento Europeo. (2022). Pacto Verde Europeo: clave para una UE climáticamente neutra y sostenible. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/priorities/cambio-climatico/20200618STO81513/pacto-verde-europeo-clave-para-una-ue-climaticamente-neutral-y-sostenible>
- ONU. (2022). Agenda para el desarrollo sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- ONU Habitat. (s.f.). Contaminación, automóviles y calidad del aire. Obtenido de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire#:~:text=Los%20autom%C3%B3viles%20particulares%20generan%20el,las%20medidas%20de%20prevenci%C3%B3n%20adecuadas>
- Onuhabitat. (2015). Reporte Nacional de movilidad urbana 2014–2015. Obtenido de <https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/Reporte-Nacional-de-Movilidad-Urbana-en-Mexico-2014-2015.pdf>
- Saldaña, S. (2022). *Xataka México*. Acabó la temporada de ozono: hubo cinco contingencias ambientales en CDMX y área metropolitana, dos más que en 2021. Obtenido de <https://www.xataka.com.mx/ecologia-y-naturaleza/acabo-temporada-ozono-hubo-cinco-contingencias-ambientales-cdmx-area-metropolitana-dos-que-2021#:~:text=Cripto-Acab%C3%B3%20la%20temporada%20de%20ozono%3A%20hubo%20cinco%20contingencias%20ambientales%20en,d>
- Secretaría de Economía. (s.f.). Responsabilidad Social Empresarial. Obtenido de <https://www.gob.mx/se/articulos/responsabilidad-social-empresarial-32705>
- Secretaría de Energía. (s.f.). Reporte Anual del Potencial de Mitigación de GEI en el Sector Eléctrico. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/articulos/reporte-anual-del-potencial-de-mitigacion-de-gei-en-el-sector-electrico>
- United Nations Climate Change. (s.f.). El acuerdo de París. Obtenido de <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- World Health Organization. (2022, abril). Air quality database. Obtenido de <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database>