

La producción y uso de autos eléctricos en la Ciudad de México, para la disminución de la contaminación

The production and use of electric cars in Mexico City, to reduce pollution

Jesus Castillo Rodriguez

Universidad Politécnica de Madrid

Cast86@prodigy.net.mx

Resumen

El objetivo de esta investigación es proyectar el crecimiento de la venta de autos eléctricos para así poder medir la cantidad de $g(CO_2)/Km$ que se ahorra al estar en circulación un vehículo eléctrico, en comparación con uno de combustión interna. La metodología emplea técnicas econométricas para proyectar el crecimiento correspondiente a la venta de autos eléctricos, donde los resultados previos indican un crecimiento abrupto en el uso de autos eléctricos lo que conlleva una disminución de CO_2 en el valle de México.

Palabras clave: Vehículos eléctricos, combustión, gases efecto invernadero.

Summary

The objective of this research is to project the growth of the sale of electric cars to be able to measure the amount of $g(CO_2)/Km$ that is saved when an electric vehicle is in circulation, compared to an internal combustion one. The methodology uses econometric techniques to project the growth corresponding to the sale of electric cars, where the previous results indicate an abrupt growth in the use of electric cars, which entails a decrease in CO_2 in the Valley of Mexico.

Key words: Electric vehicles, combustion, greenhouse gases.

Introducción

El cambio climático es causado principalmente por las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera, siendo un hecho probado que el exceso de estas emisiones está provocando severos daños al ecosistema, tales como calentamiento global, derretimiento de los polos, sequías y lluvia ácida. Adicionalmente los gases contaminantes emitidos por la quema de combustible principalmente por los automóviles generan daños a la salud (Medina, 2019).

Una de las formas de reducir estas emisiones de gases efecto invernadero es mediante la aplicación de tecnologías en los medios de transporte que mejoren el sistema de combustión y con ello hacer más eficiente el funcionamiento de los catalizadores, maximizando la destrucción de los gases nocivos tras la quema del combustible y, por otro lado, la implementación de energías más limpias tales como el uso de biocombustibles, autos a base de hidrogeno o autos eléctricos.

En México los automóviles se han limitado durante años al uso de la gasolina y diésel, lo que implica gran dependencia del petróleo y la generación de emisiones importantes de CO₂. En 2017 el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (INEGI), contabilizó un total de 45 millones 476 mil 133 vehículos de transporte entre automóviles, motocicletas, camionetas y otros, circulando en todo país (INEGI, 2017). Por otro lado, tan solo en la ciudad de México aproximadamente 99.8 % del sector transporte se abastece principalmente de combustibles fósiles, y tan solo el 0.2 % son vehículos a base de energía eléctrica (Elizondo y Amezcuca, 2018). Por lo tanto, el uso de los vehículos eléctricos está siendo subutilizado en la actualidad, por lo que una expansión de su uso puede ser una solución tangible para disminuir la contaminación y la dependencia del petróleo.

Dicho lo anterior esta investigación tiene por objetivo proyectar el crecimiento de la producción de autos eléctricos y analizar su impacto en la disminución de gases efecto invernadero en la Ciudad de México, es decir en qué medida se reduce la emisión de g(CO₂)/Km por sustituir el uso de vehículos convencionales a vehículos eléctricos.

De este modo, existen al menos dos alternativas para reducir las emisiones de gases efecto invernadero en la Ciudad de México, por un lado, incrementar el uso de autos

eléctricos y por el otro la implementación de un convertidor catalítico capaz de minimizar la emisión de gases CO₂.

Los autos eléctricos sin duda son una alternativa para reducir la emisión de gases efecto invernadero en la Ciudad de México, pero es necesario generar políticas públicas que incentiven la atracción de inversión extranjera directa dedicada a la fabricación de vehículos eléctricos, puesto que en la actualidad la economía se basa en la producción de autos a combustión formando grandes conglomerados referentes a la industria automotriz y por ello un uso intensivo de estos.

Es importante destacar que todos los automóviles basados en combustión interna son sumamente deficientes, lo que ha generado un alto consumo de hidrocarburos (Rolf y Ganesh, 2015). Estos automóviles al ser propulsados por la combustión de hidrocarburos generan grandes cantidades de gases de efecto invernadero que suelen contribuir al calentamiento global del planeta, así como mermar la salud de la sociedad, por ejemplo, los problemas respiratorios (Dickens, 2014).

El parque vehicular de una ciudad está constituida aproximadamente de un 73 % de automóviles, adicional a esto un solo automóvil genera aproximadamente 450 g(CO₂)/Km, mientras que un vehículo eléctrico genera aproximadamente 8 g(CO₂)/Km, es decir 5600 % menos que un auto convencional (Gil y Prieto, 2013). Por lo tanto, es necesario plantear políticas públicas que incentiven el uso de vehículos eléctricos para reducir las emisiones de gases contaminantes y de esta forma reducir la contaminación en el aire en la Ciudad de México.

En la primera parte de la investigación se abordan temas referentes a la industria automotriz, en la segunda parte se describe el funcionamiento referente a los motores de combustión interna y su normativa en México, para seguir con el análisis de los autos eléctricos, posteriormente en la metodología se proyectará el crecimiento de la producción de vehículos eléctricos, para finalmente cerrar con la discusión y las conclusiones.

1.- Generalidades sobre la industria automotriz en México

La teoría económica neoclásica pone de manifiesto la existencia de una fuerza que promueve los flujos de capital de los países ricos hacia los países pobres (Pérez-

Oviedo, 2015). Este proceso derivado de la globalización es causante de que las ensambladoras de automóviles implementen estrategias sustentadas en la competitividad para adaptarse al entorno; las plantas productivas han adoptado practicas globales en sus actividades de manufactura desagregando su proceso productivo, encomendando las actividades de menor importancia y subcontratando los niveles inferiores de la cadena de suministros. La dirección en la cadena productiva se ha vuelto un punto focal para establecer estructuras de negocio solidas frente a los proveedores, instaurándose en zonas cercanas a las nuevas plantas armadoras instaladas (Álvarez, 2002).

Existen dos hechos importantes que influyen en los cambios de la industria automotriz: el aumento de la demanda global de automóviles, y los cambios tecnológicos (Álvarez, 2002). De ahí que la industria automotriz pasó de ser una simple ensambladora a formar plantas altamente especializadas encaminadas a mejorar la calidad de su mano de obra, lo que le ha llevado a ubicarse en los sectores más modernos de la industria manufacturera, aunque por debajo de industrias dedicadas a la nanotecnología y al sector aeroespacial (Muñoz, 2018).

En México los cambios en la industria han sido promovidos principalmente por la competencia de las empresas automotrices en el mercado de Estados Unidos y el crecimiento acelerado de la industria automotriz China, permitiendo la entrada de nuevas empresas al mercado (Álvarez, 2007). El sector automotriz en México siempre ha sido una piedra angular del desarrollo industrial del país, pues establece cadenas de suministro de alto nivel que incentivan el desarrollo de proveedores, estimulando los sistemas de calidad, y optimizan los sistemas de producción (Miranda, 2007).

La industria automotriz se localiza principalmente en los Estados de la franja fronteriza, donde su enlace ocurre de forma paralela con las automotrices Ford, GM y Toyota, la primera ensambladora ubicada en la ciudad de Chihuahua y Hermosillo, cuya inversión supera los 1,600 millones de dólares con una producción de 300,000 autos anuales. General Motors con su armadora de motores y camiones en Estado de México y Querétaro, además cuenta con plantas productivas dedicadas a la exportación de camionetas; Toyota ubicada en Tijuana pose una inversión por 140 millones de dólares, lo cual le da una capacidad instalada para producir 30,000 unidades al año de su camioneta Tacoma, adicionalmente esta planta contempla la

producción de componentes automotrices para proveer las plantas de Estados Unidos (Miranda, 2007).

Dicho lo anterior la industria automotriz tiene gran relevancia en México, pero no fue hasta inicios del siglo XXI cuando la industria automotriz eléctrica empezó a desarrollarse, con la producción de vehículos con sistemas basados en baterías eléctricas de litio, o la utilización de celdas solares (De León, 2009).

2.- Motores de combustión interna y su normativa en México

En la actualidad las emisiones contaminantes referentes al parque vehicular han sido temas centrales de investigación debido a que se busca reducir los niveles contaminación, a partir de desarrollar motores más eficientes que disminuyan el consumo de gasolina, ya que hoy en día los vehículos son la mayor fuente de emisiones contaminantes hacia el medio ambiente (Rojas y Romero, 2020).

La mayoría de los vehículos actuales son impulsados por combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo. Ejemplo de esto es la gasolina que es una sustancia derivada de la refinación del petróleo compuesta adicionalmente de cientos de componentes químicos más, que al ser altamente inflamable y mezclarse con el oxígeno hace posible la combustión interna de un motor. El proceso es muy simple: una pequeña chispa enciende la mezcla de gasolina y aire, haciendo que en el cilindro del motor mueva el pistón de la parte inferior a la parte superior, durante este proceso se obtendría nitrógeno molecular (N_2), agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2), posteriormente estos compuestos son empujados por el mismo pistón al sistema del catalizador donde esta composición de elementos son suavizados para que sean finalmente expulsados por el escape al medio ambiente, es decir los vehículos tradicionales funcionan transformando la energía química en energía cinética (Wallington, Kaiser, y Farrell, 2006).

A nivel global a inicios del siglo XXI el sector transporte consumió más de 50 % del petróleo y generó aproximadamente un 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (Timilsina y Dulal, 2011); estas cifras coinciden con las reportadas por la Agencia Europea del Medio Ambiente, ya que para el año 2019 el sector transporte fue responsable de cerca de una cuarta parte del total de emisiones de CO_2 (AEMA, 2021).

En los últimos años, de acuerdo con el programa de las Naciones Unidas para el ambiente este sector ha sido responsable de aproximadamente el 14 % de las emisiones mundiales de gases efecto invernadero (UNEP, 2023).

En 2013 el gobierno mexicano publicó una norma ambiental con el fin de disminuir los impactos negativos del sector transporte, dicha norma establece un techo en las emisiones de CO₂ para los vehículos ligeros con el objetivo de disminuir las emisiones de gases efecto invernadero que contaminan, así como aumentar el rendimiento de la gasolina km por litro (Elizondo y Hernández, 2018). Actualmente en México el sector transporte contribuye con la emisión de 171MtCO₂ de un total de 683MtCO₂, es decir, lo que representa un 25 % del total de gases efecto invernadero (SEMARNAT, 2020).

3.- Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos han sido identificados como una tecnología clave para reducir las emisiones futuras en el sector de la movilidad. Históricamente hablando los vehículos eléctricos, tienen su primera aparición en el año 1834 con Thomas Davenport quien construyó el primer coche eléctrico. Ya en el año 1900 los automóviles eléctricos tenían una pequeña parte del mercado en comparación con los automóviles de motor. Posteriormente Porsche inventó el vehículo eléctrico híbrido. Pero luego en 1908 Henry Ford puso la primera planta de producción en serie de vehículos de combustión interna desplazando así a los vehículos eléctricos (Helmers y Marx, 2012). Entonces, a causa de los altos costos iniciales y la baja autonomía los vehículos eléctricos fueron retirados del mercado en la década de 1930 y solo después de la década de 1970 volvió el interés por esta tecnología (Teixeira y Sodré, 2018).

Larminie y Lowry (2012) clasifica los componentes principales de un vehículo eléctrico en batería eléctrica, el motor eléctrico y un controlador de motor. La estructura técnica de un vehículo eléctrico es más simple en comparación con el vehículo convencional de combustión, ya que no se necesita un sistema de arranque, escape o lubricación, en su mayoría caja de cambios y, a veces, ni siquiera un sistema de refrigeración.

La batería se carga con electricidad cuando se conecta a la red eléctrica a través de

un dispositivo de carga o durante el frenado a través de la recuperación. El cargador es un componente crucial, ya que su eficiencia puede variar entre el 60 % y el 97 %, desperdiciándose por lo tanto entre el 3 % y el 40 % de la energía de la red en forma de calor. El controlador de motor suministra al motor eléctrico una potencia variable en función de la situación de la carga, donde el motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica (Helmerts, 2012).

Los vehículos eléctricos tienen la capacidad de disminuir las emisiones de CO₂ del sector transporte, ya que ofrecen una opción a los vehículos convencionales basados en combustión. Los vehículos eléctricos no generan emisiones de CO₂ por su uso, por lo que no contribuye a producir gases de efecto invernadero; estos vehículos al no depender de gasolina como fuente de combustible no generan ruido tras su funcionamiento, así mismo en comparación con los vehículos convencionales, los motores eléctricos tienen una mayor eficiencia del torque en la rueda (Campanari et al., 2009).

Por otra parte, aunque los vehículos eléctricos no producen emisiones de CO₂, aún pueden ser responsables de algunas emisiones de CO₂ indirectas, ya que estos vehículos requieren energía para funcionar y esa energía debe obtenerse de alguna manera, por lo tanto, si su energía se obtiene de una fuente que no emite CO₂ como la energía solar, eólica, nuclear o hidroeléctrica, entonces los vehículos eléctricos no serán responsables indirectos de emisiones de CO₂. Sin embargo, si la energía de estos vehículos proviene de métodos que producen emisiones de CO₂, entonces dichos vehículos siguen siendo responsables de las emisiones de CO₂ que ingresan al medio ambiente (Doucette y McCulloch, 2011).

4.- Metodología

Los estudios empíricos en economía suelen ser realizados mediante el uso de técnicas econométricas. Estas se componen de diversos elementos entre los que destacan la economía matemática, la probabilidad y la estadística, así como el análisis de bases de datos económicas para estudiar y cuantificar mediante datos reales los fenómenos económicos y tener indicios sobre la pertinencia de las teorías científicas elaboradas por los economistas; esto facilita también la aplicación de preceptos económicos por parte de los hacedores de política industrial.

Con la finalidad de enriquecer el entendimiento del comportamiento productivo de la industria dedicada a la fabricación de vehículos eléctricos, el presente estudio se sustenta en el análisis de regresión lineal múltiple, que es una técnica estadística para comprobar hipótesis y relaciones causales entre variables basado su análisis en series de tiempo, donde cada observación presenta un atributo que permite su categorización; a partir del cual podemos identificar qué variables independientes X_i (causas) explican una variable dependiente Y (efectos), para predecir su comportamiento en base a tasas de crecimiento. Donde los coeficientes β van a designar el incremento porcentual o tasa de crecimiento por el aumento de la correspondiente variable explicativa. Por lo tanto, estos coeficientes indicarán los pesos correspondientes a las unidades de medida de cada variable X_i .

Para la presente investigación se analizan variables tales como las ventas de vehículos eléctricos, la injerencia que tiene la venta de autos eléctricos en el periodo anterior, es decir una variable autorregresiva de primer orden, el número de estaciones de carga, y una variable dicotómica: el COVID-19, este último medirá el efecto que tuvo dicha pandemia en la venta de autos eléctricos. El modelo toma la siguiente forma:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 Y_{t-1} + u_t$$

Ecuación 1. Tomada de Gujarati y Porter (2007)

Donde

Y_t , es la venta de vehículos eléctricos en meses

X_1 , son el número que existe de las centrales de carga eléctrica para autos eléctricos

X_2 , es una variable dummy con valor 1 cuando hubo COVID-19 y 0 cuando no lo hubo

$Y_{t-1} = AR(1)$, siendo la variable autorregresiva de primer orden que representa la venta de los autos eléctricos en un periodo anterior.

Las series de tiempo fueron tomadas de bases públicas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), descritas con mayor detalle en las referencias.

Una vez proyectando el crecimiento de la venta referente a los autos eléctricos se

procederá a ver la cantidad $g(\text{CO}_2)/\text{Km}$ que se disminuye, bajo el supuesto de que la venta de un auto eléctrico es sustituido por la venta de un vehículo convencional; y donde un automóvil de combustión interna genera aproximadamente $450 g(\text{CO}_2)/\text{Km}$ vs el vehículo eléctrico que genera aproximadamente $8 g(\text{CO}_2)/\text{Km}$ (Gil y Prieto, 2013).

Por otro lado, el modelo comprende dos limitantes, la primera es que no se contempló la emisión de CO_2 por la producción de los mismos vehículos eléctricos, por lo que al no tener información pertinente se tomó el supuesto de que producir un vehículo eléctrico genera la misma cantidad de CO_2 que producir un auto basado en combustión interna; la segunda limitante es que no se consideraron los precios de los vehículos eléctricos ya que sobrepasa el alcance del estudio, al ser este un modelo de series de tiempo,

5.- Resultados

Se corrió una regresión múltiple, donde los resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Modelo de regresión múltiple para determinar el crecimiento de la venta de vehículos eléctricos.

Variable	Coficiente
Constante (C)	-79.8643
Centrales de carga (X_1)	0.5643***
COVID-19 (X_2)	-95.9535***
AR(1) (Y_{t-1})	0.6683***

$$\underline{R^2 \quad 0.7172}$$

Elaboración propia en E-views con respecto a la venta de vehículos eléctricos ligeros del INEGI 2016-2022
Nota: ***significante al 10 %, **significante al 5 %, *significante al 1 %.

El intercepto (el punto de origen), siendo la constante **C**, que indica el valor autónomo, ya que esta cantidad es independiente, es decir cuándo el tiempo vale 0, **Y** valdrá menos 79.8643 vehículos eléctricos, por lo que la venta de vehículos eléctricos inicia con condiciones desfavorables en cuanto a las ventas.

Analizando la variable X_1 en términos de análisis económico, podemos inferir que por

cada central de carga eléctrica que se instaure en la Ciudad de México, se incrementaran las ventas en 0.5643 de vehículos eléctricos.

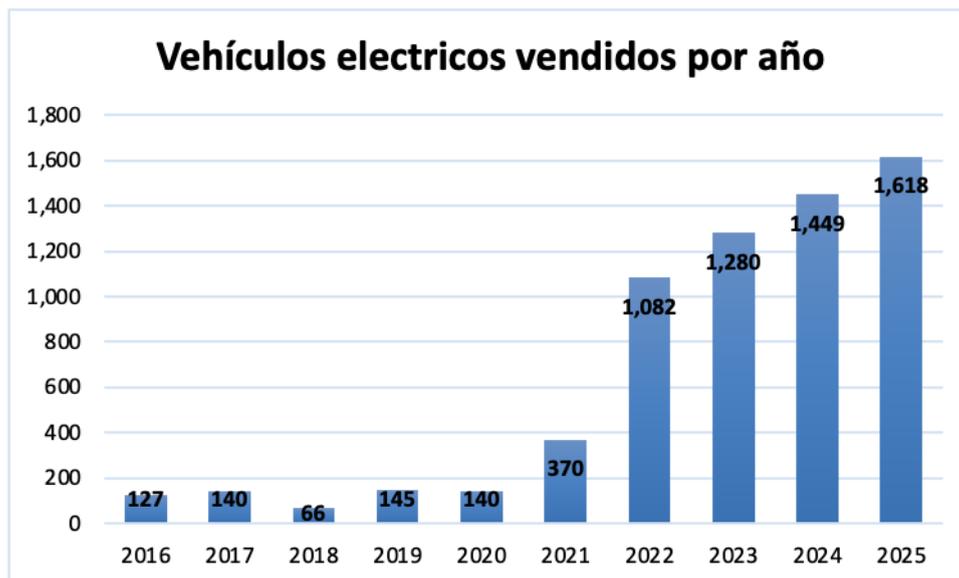
Analizando la variable X_2 en términos de análisis económico, podemos inferir que este valor captura los efectos que se tuvieron por la pandemia referente a la venta de autos eléctricos en la Ciudad de México, dándonos a entender que el COVID-19 trajo una disminución de las ventas de aproximadamente en 96 vehículos eléctricos por mes.

En cuanto a las variables autorregresivas, AR_1 nos indica que el valor de las ventas de autos eléctricos, que tiene relación con ventas de autos eléctricos del mes anterior, y que en términos de análisis económico podemos inferir que tiene una relación positiva, y que por cada vehículo eléctrico que venda en el mes anterior consecuentemente se incentivara la venta en .6683de vehículos eléctricos.

De la tabla 1 podemos observar que el valor de la R-cuadrado es igual a 0.7172 lo que nos indica la bondad de ajuste del modelo, recordemos que este valor oscila entre 1 y 0, y teniendo este un valor cercano a 1, se puede aseverar que en términos generales es un modelo que se ajusta en buena medida.

6.- Discusión

Entonces, por cada vehículo eléctrico vendido se tiene un ahorro de 442 g(CO₂)/km, y suponemos que en promedio cada vehículo recorre 1000 km por mes, por lo tanto tendremos los siguientes ahorros por año, partiendo del total de vehículos eléctricos vendidos del año 2016 al 2022 son los vehículos reales vendidos, mientras para los años subsecuentes son los vehículos proyectados, quedando de la siguiente manera:

Grafica 1. Proyección de venta de autos eléctricos en la CDMX

Elaboración propia con respecto a la venta de vehículos electricos ligeros del INEGI 2016-2022

Grafica 2. Proyección de ahorro en millones de g(CO₂)/km por año por vehículo eléctrico vendido.

Elaboración propia con respecto a la venta de vehículos electricos ligeros del INEGI 2016-2022

Por lo tanto se tendrá un ahorro para el año 2025 de 87,339,000 Kg(CO₂)/km por la puesta en circulación de 6,417 vehículos eléctricos.

Los resultados son inequívocos, el aumento del uso de vehículos eléctricos sin duda disminuye la emisión de CO₂ en forma exponencial, ya que para el primer año (2016) se tuvo un ahorro de 347,000 kg(CO₂)/km, mientras para el décimo año (2025) el ahorro total fue de 30,665,000 kg(CO₂)/km, es decir, durante 10 años existe una disminución de 8826 % respecto de las emisiones de CO₂, esto debido al efecto cascada que produce, funcionando de manera similar como opera el interés compuesto, donde los intereses se van capitalizando, es decir los intereses que genera el capital producen más y mayores intereses, haciendo posible un aumento abrupto de capital.

De acuerdo con Solís y Sheinbaum (2016), entre 2010 y 2050 las emisiones del sector del autotransporte crecerán 370%, es decir pasará de 146 a 682 Tg de CO₂ (millones de toneladas de CO₂); y que para el 2050, el 80 % de las emisiones del autotransporte provendrán de la quema de gasolina, principalmente por los automóviles y camiones ligeros, por lo que una medida para solucionar este problema es el aumento del uso de vehículos eléctricos, como los resultados de esta investigación indican, y debido a la fórmula de interés compuesto aplicada al ahorro de emisiones de CO₂, estaríamos dejando de emitir para el año 2025 87,339,000 kg(CO₂)/km con tan solo 6,417 vehículos eléctricos puestos en circulación entre 2016 y 2025, por lo que es indispensable incrementar la producción y venta de autos eléctricos en la Ciudad de México y en todo el país.

Conclusiones

Los resultados de este artículo mostraron cómo influyen ciertas variables en las ventas de vehículos eléctricos en México; por una parte corresponde al número existente de centrales de carga, por lo que si se quiere incentivar el uso de vehículos eléctricos se tiene que considerar aumentar sustancialmente el número de puntos de carga. Ahora bien, con respecto a la crisis económica causada por el COVID-19 y que esta ya fue superada a principios del año 2023, se espera un incremento en la producción y así mismo en la venta de vehículos eléctricos para los próximos meses, y que al incrementarse la venta de vehículos eléctricos se genera un círculo virtuoso de

correspondencia; ya, como se puede apreciar, con la variable autorregresiva, la venta de vehículos eléctricos de un mes anterior influye en la venta de vehículos eléctricos del mes siguiente. Así, a partir de las correspondencias con las variables identificadas, se debe trazar un plan nacional estratégico para incentivar el uso de los vehículos eléctricos con el fin de resolver en la problemática de la contaminación del aire por el exceso de CO₂ en la ciudad de México.

Esta investigación tuvo por objetivo medir el impacto que tendría el aumento del uso de los autos eléctricos, cuantificando el ahorro emitido de g(CO₂)/km, pero solo para el caso de autos eléctricos, por lo que este artículo puede dar pauta a investigaciones futuras que repliquen el estudio, pero aumentando el umbral a autos híbridos (PHEV y HEV) y haciendo una comparativa costo/beneficio que vehículo es más conveniente.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México y al programa de becas posdoctorales, ya que brindó los recursos necesarios para su publicación.

Referencias

AEMA. (2021). Agencia Europea del Medio Ambiente. Consultado el 30-03-23 en <https://www.eea.europa.eu/es>

Álvarez, L. (2002). Cambios en la industria automotriz frente a la globalización: el sector de autopartes en México. *Contaduría y Administración*, (206), 29-49.

Álvarez, L. (2007). Formación de redes de conocimiento en México: cambios impulsados por la competencia en la industria automotriz mundial. *Economía y Sociedad*, 12(20), 78-92.

Campanari, S., Manzolini, G., y Garcia de la Iglesia, F. (2009). Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations. *Journal of Power Sources* 186 (2), 464–477.

CFE. (2022). Comisión Federal de electricidad. Consultado el 30-03-23 en

<https://www.cfe.mx>

Doucette, T., y McCulloch, D. (2011). Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. *Energy Policy*, 39(2), 803-811.

Daley, R., Christou, S., Efstathiou, A., y Anderson, J. (2005). Influence of oxychlorination treatments on the redox and oxygen storage and release properties of thermally aged Pd-Rh/CexZ_{1-x}O₂/Al₂O₃ model three-way catalysts, *Environment*. vol. 60, no.2, 117–127.

De León, J. (2009). La industria automotriz del auto eléctrico. *Ingenierías*, 12(44), 3-6.

Dickens, G. (2014). Global change: Hydrocarbon-driven warming, *Nature*. 429, 513-515.

Elizondo, A., y Hernández, T. (2018). Regulación de las emisiones de CO₂ para vehículos ligeros en México. *Gestión y política pública*, 27(2), 571-594.

Gil, S. y Prieto R. (2013). Los autos eléctricos ¿hacia un transporte más sustentable?. *Petrociencia*. Gujarati, N. y Porter. D. (2007). *Econometría*. México. Graw Hill.

Helmerts, E., y Marx, P. (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 1-15.

INEGI (2017). Instituto Nacional de Estadística y Geografía en el registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros. Consultado el 20-06-22 en <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>.

Larminie, J., Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. Chichester: John Wiley & Sons.

Medina, E. (2019). La contaminación del aire, un problema de todos. *Revista de la Facultad de Medicina*, 67(2), 189-191.

Muñoz, M. (2018). Crecimiento del empleo manufacturero y externalidades: México y Marruecos en las regiones fronterizas. *Revista Análisis Económico*, 27(65), 57-88.

Min-Seuk, K., Sang-Woon, P., Jae-Chun L., y Kumar-Choubey, P. (2016). A novel zero emission concept for electrogenerated chlorine bleaching and its application to

extraction of platinum group metals from spent automotive catalyst, *Hydrometallurgy*, vol. 159, pp. 19-27.

Miranda, V. (2007). La industria automotriz en México: Antecedentes, situación actual y perspectivas. *Contaduría y administración*, vol. 221, 209-246.

Pérez-Oviedo, W. (2015). Externalidades de la mano de obra calificada y estados estacionarios múltiples en una economía abierta pequeña. *El trimestre económico*, 82(328), 787-806.

UNEP. (2023). Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente. Consultado el 29-03-2023 en <https://www.unep.org/es>

Rojas Reinoso, E. V., Romero Hidalgo, V. J., & Pancha Ramos, J. M. (2020). Análisis del comportamiento de las emisiones de CO₂, CO y del factor lambda de un vehículo con sistema de inyección convencional con catalizador y sin catalizador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (23), 23-29.

Rolf, D. y Ganesh, D. (2015). Review of high efficiency and clean reactivity controlled compression ignition (RCCI) combustion in internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol 46, 12-71.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Consultado el 30-03-23 en <https://cambioclimatico.gob.mx/contribucion-determinada-a-nivel-nacional-actualizacion-2020/>.

Solís Ávila, J. C., & Sheinbaum Pardo, C. (2016). Consumo de energía y emisiones de CO₂ del autotransporte en México y escenarios de mitigación. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(1), 7-23.

Teixeira, R., y Sodr e, R. (2018). Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO₂ emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 375-384.

Timilsina, G.R. y H.B. Dulal (2011). "Urban Road Transportation Externalities: Costs and Choice of Policy Instruments", *The World Bank Research Observer*, 26(1), pp. 162-191.

UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente) (2011). *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*,

Sanit-Martin Bellevue: UNEP.

Wallington T., Kaiser E., y Farrell, J. (2006). Automotive fuels and internal combustion engines: a chemical perspective. *Chem. Soc. Rev.* 4, 335–347.