Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Estimación y proyección del precio de la gasolina en México: un análisis histórico-prospectivo

Estimation and projection of gasoline prices in Mexico: a historical–prospective analysis

Ojeda-Misses, M.O.*, Franco-Árcega, A., López-Morales, V., García-Islas, L.H., Cruz-Olguín, J.M.
Área Académica de Computación y Electrónica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México. (Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3963-5399*, https://orcid.org/0000-0002-9415-8313, https://orcid.org/0000-0003-2043-8766, https://orcid.org/0000-0002-1483-2428, https://orcid.org/0009-0008-1328-7780).
manuel_ojeda@uaeh.edu.mx*; afranco@uaeh.edu.mx; virgilio@uaeh.edu.mx; luishg@uaeh.edu.mx; cr233109@uaeh.edu.mx

Innovación tecnológica: Uso de técnicas de la estadística para estudiar y hacer un análisis histórico y prospectivo del precio de la gasolina en México.

Área de aplicación industrial: Uso de datos, regresión lineal, modelado y predicación de datos.

Recibido: 24 julio 2024
Aceptado: 25 diciembre 2025

Abstract

This article presents a detailed analysis of future gasoline prices in Mexico, based on a projection that uses historical price data and anticipated public policies expected to influence gasoline pricing. The estimation is carried out using linear regression and a hybrid model that combines linear regression with adjustments related to the anticipated adoption of electric vehicles. The goal is to predict how gasoline prices will evolve in the coming years, with a forecast horizon extending to the year 2050. The analysis focuses on historical gasoline prices and public policies implemented in response to the growing adoption of electric vehicles. It is also recognized that gasoline prices are shaped both directly and indirectly by a wide range of underlying economic and political factors. These include inflation, Gross Domestic Product (GDP), changes in the global oil market, international crises, government fiscal policies, exchange rate fluctuations, variations in domestic fuel demand, and international energy policies. This article goes beyond mere price forecasting; it also examines future trends in gasoline consumption within a context of rapidly changing energy policies. As environmental concerns intensify and renewable energy technologies advance, it is

anticipated that the adoption of electric vehicles may reduce gasoline demand in the country, leading to a potential decline in fossil fuel consumption, thereby mitigating environmental impacts and marking a shift toward a more sustainable future.

Keywords: Gasoline, Price, Estimation, Linear regression, Mexico.

Resumen

Este artículo presenta un análisis detallado del precio futuro de la gasolina en México, basado en una proyección que utiliza datos históricos de precios y prospectivas de políticas públicas que afectarían el precio de la gasolina. A través de la estimación mediante el método de regresión lineal y un modelo híbrido basado en la regresión lineal y el ajuste debido a la adopción de vehículos eléctricos. Cuyo fin es predecir cómo evolucionará el precio de la gasolina en los próximos años, con un horizonte hasta el año 2050. El análisis se enfoca en los precios históricos de la gasolina y las políticas públicas aplicadas en respuesta a la introducción de vehículos eléctricos, también se reconoce que estos precios están determinados indirecta y directamente por una variedad de factores económicos y políticos subyacentes. Entre estos factores se incluyen la inflación, el Producto Interno Bruto (PIB), los cambios en el mercado global de petróleo, crisis internacionales, las políticas fiscales del gobierno, las fluctuaciones en el tipo de cambio, las variaciones en la demanda interna de combustibles y políticas internacionales. Este artículo no solo se limita a predecir precios, sino que también examina las tendencias futuras en el consumo de gasolina, en un contexto donde las políticas energéticas están cambiando rápidamente. A medida que las preocupaciones medioambientales se intensifican y las tecnologías de energía renovable avanzan, se prevé que la adopción de vehículos eléctricos podría disminuir la demanda de gasolina en el país, brindar un declive reduciendo el impacto ambiental y marcando un cambio hacia un futuro más sostenible.

Palabras clave: Gasolina, Precio, Estimación, Regresión lineal, México.

1. Introducción

La gasolina ha desempeñado un papel fundamental en la economía y la política de México desde principios del siglo XX (COFECE, 2019). Este recurso fósil ha sido vital para el transporte, la industria y la generación de energía en el país, siendo un componente esencial para la movilidad y el desarrollo económico. A lo largo de las décadas, su importancia ha evolucionado significativamente, influyendo no solo en la vida cotidiana de los mexicanos, sino también en la estructura y las dinámicas del poder político (Faustino, 2024).

México es uno de los mayores productores y consumidores de gasolina en América Latina. La economía mexicana depende en gran medida de la gasolina como fuente primaria de energía para el transporte de personas y bienes, así como para la maquinaria industrial y agrícola. Esta dependencia se ha intensificado a medida que el país ha experimentado un crecimiento urbano y económico acelerado durante las últimas décadas. La gasolina es el combustible más utilizado en México, con una demanda que sigue creciendo a medida que aumenta la

población y la urbanización (Faustino, 2024), (Sánchez et al., 2015).

En términos de producción, México ha sido históricamente un importante productor de petróleo crudo, del cual se derivan los combustibles como la gasolina. Sin embargo, en las últimas décadas, la producción nacional ha enfrentado desafíos significativos, lo que ha llevado al país a depender cada vez más de las importaciones de gasolina refinada (Prado, 2019). Este cambio ha tenido importantes implicaciones económicas y políticas, afectando tanto al sector energético como a la balanza comercial del país.

El precio de la gasolina y su disponibilidad han sido temas de controversia y debate en México (Prado, 2019). La política de subsidios gubernamentales y la liberalización del mercado han sido puntos críticos en la agenda política nacional. Los cambios en los precios de la gasolina han provocado protestas y manifestaciones, reflejando la sensibilidad social y económica en torno a este recurso vital. La estimación del precio de la gasolina en México incluye un análisis de múltiples factores económicos, políticos y sociales que afectan los precios del combustible. A continuación, se presenta un resumen de los principales enfoques y estudios que enlistan los factores determinantes del precio de la gasolina (Mendoza & Venegas, 2021), (Prado, 2019).

Primero respecto a los precios internacionales del petróleo se tiene que dichos precios influyen en la gasolina en México están estrechamente debido a que están ligados a los precios internacionales del petróleo. Variaciones en el mercado global, como la oferta y demanda de petróleo (Sánchez et al., 2015), influencias geopolíticas y decisiones de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), afectan directamente los costos de importación y, por ende, el precio final al consumidor (Torres & Rebollar, 2021).

En cuanto a la política energética nacional del gobierno mexicano, anteriormente incluida la regulación y subsidios, tiene un impacto significativo (Ferrer & Escalante, 2014). La reforma energética de 2013 (Varela & Carbajal, 2022), que abrió el mercado energético a la competencia, cambió la estructura de precios al introducir nuevos actores en el mercado. Sin embargo, factores como los impuestos y subsidios sobre el combustible, como el IEPS (Impuesto Especial sobre Producción y Servicios), y los subsidios al consumo de gasolina también son factores críticos. Estos pueden fluctuar según las políticas fiscales del gobierno, afectando así el precio final. Por otro lado, el tipo de cambio también involucra el precio dado que México importa una parte considerable de su gasolina, las fluctuaciones en el tipo de cambio peso-dólar influyen en los precios. Una devaluación del peso puede incrementar los costos de importación y, consecuentemente, los precios de la gasolina (Guerrero et al., 2024), (Borja et al., 2019).

En cuanto a trabajos de investigación enfocados en el estudio del precio de la gasolina en México, se tienen: un trabajo donde se abarca la demanda de gasolina en México, que ha sido objeto de diversos estudios que analizan su sensibilidad a los precios y al ingreso. Johnson et al. (2009) observaron que el consumo de energía del sector transporte se cuadruplicó entre 1973 y 2006, y el parque vehicular se triplicó entre 1996 y 2006, lo que indica una creciente dependencia del consumo de gasolina respecto al ingreso y un comportamiento inelástico frente a variaciones en los precios. Por otro lado, Crôtte, Noland y Graham (2010) encontraron que la elasticidad-precio de la demanda de gasolina en México es menor en comparación con otros países, sugiriendo una baja sensibilidad al precio en

el corto plazo. Estos estudios resaltan la importancia de considerar factores como el ingreso y el parque vehicular al estimar la demanda de gasolina en México.

En cuanto a la proyección del precio de la gasolina en México ha sido abordada mediante diversos enfoques econométricos. Montero Monsalvo et al. (2018) aplicaron un modelo econométrico de ecuaciones simultáneas para analizar el mercado de petróleo y gasolina en México entre 1996 y 2015. Sus resultados indicaron que la oferta de petróleo es altamente inelástica respecto al precio internacional, lo que limita la capacidad de ajuste de los precios internos ante fluctuaciones externas. Además, destacaron que la demanda de gasolina está influenciada principalmente por el número de vehículos en circulación, lo que sugiere que factores estructurales juegan un papel crucial en la determinación de los precios.

En términos de metodologías avanzadas, Ranjbar y Rahimzadeh (2024) propusieron un modelo híbrido que integra transformers, LSTM y CNN para la proyección del consumo de gasolina. Aunque su estudio se centró en Irán, la metodología empleada ofrece un marco robusto que podría adaptarse al contexto mexicano, especialmente en la incorporación de variables macroeconómicas y ambientales en las proyecciones.

Finalmente, la volatilidad de los precios del petróleo tiene implicaciones directas en la economía mexicana. Un estudio de Saucedo (2019) utilizó un modelo VAR estructural para analizar cómo la incertidumbre en los precios del petróleo afecta el crecimiento económico en México entre 1983 y 2017. Los resultados mostraron que los choques negativos en los precios del petróleo tienen efectos adversos significativos en la actividad económica, lo que subraya la importancia de considerar la incertidumbre externa en las proyecciones de precios de la gasolina.

Realizando una tabla comparativa entre los trabajos reportados y el trabajo realizado en este trabajo se identificaron en las categorías las diferencias esenciales (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tabla comparativa de los trabajos realizados vs trabajo presentado.

Categoría	Estado del Arte	Artículo propuesto	Referencias
Objetivo principal	Estimar la demanda o analizar los efectos del petróleo/gasolina en la economía mexicana.	Proyectar el precio de la gasolina hasta 2050 considerando factores estructurales y políticos.	Montero Monsalvo et al. (2018); Crôtte et al. (2010)
Metodología empleada	Modelos VAR estructurales, ecuaciones simultáneas, meta-análisis de elasticidades, modelos híbridos (IA).	Modelo de regresión lineal aplicada a series históricas con variables macroeconómicas.	Saucedo (2019); Ranjbar & Rahimzadeh (2024)
Horizonte temporal	Corto/mediano plazo (1996–2020).	Largo plazo hasta 2050.	Montero Monsalvo et al. (2018); Galindo et al. (2015)
Variables consideradas	Precio del petróleo, ingreso, elasticidad, parque vehicular, demanda, subsidios.	Inflación, PIB, tipo de cambio, crisis internacionales, política fiscal, transición energética, demanda futura.	Barriga Rosales (2016); Galindo et al. (2015); Ranjbar & Rahimzadeh (2024)
Innovación o diferenciador	Aplicación de modelos híbridos (LSTM, CNN) y análisis de elasticidades diferenciales.	Considera la transición energética y políticas públicas como factores clave del cambio en precios.	Ranjbar & Rahimzadeh (2024); Reyes (2012)

Categoría	Estado del Arte	Artículo propuesto	Referencias
Enfoque sobre sostenibilidad	Mencionado en relación con impuestos verdes, no como eje de análisis.	Sostenibilidad y transición energética son ejes centrales del análisis.	Galindo et al. (2015); Crôtte et al. (2010)
Tratamiento del contexto político	Consideración limitada a subsidios/impuestos.	Considera políticas nacionales e internacionales, electrificación del transporte y regulaciones ambientales.	Barriga Rosales (2016); Reyes (2012);
Proyección del consumo	Algunos trabajos analizan elasticidad, pero pocos proyectan el consumo futuro de manera integral.	Proyecta el consumo y anticipa su disminución con la llegada de los vehículos eléctricos.	Crôtte et al. (2010);

Entre las principales coincidencias se encuentran que ambos enfoques reconocen la influencia de factores macroeconómicos como el PIB y la inflación. Además, se reconoce que el precio de la gasolina no depende únicamente del mercado energético, sino también de políticas públicas y variables globales. Finalmente, existe un interés compartido en comprender las implicaciones del precio de la gasolina para la economía nacional. Por otro lado, en cuanto a diferencias este artículo propone una visión de largo plazo (hasta 2050) y con una orientación claramente prospectiva y ecológica, lo cual es menos común en los estudios revisados. Emplea un método de regresión lineal simple y el método de regresión lineal con ajuste no lineal debido a la adopción de vehículos eléctricos (donde se pueden englobar parámetros como el PIB, inflación, factores políticos, entre otros; que no son controlables dentro de un sector económico); finalmente, el enfoque en este trabajo incluye explícitamente el impacto de los vehículos eléctricos y las energías renovables, algo que pocos estudios del estado del arte han abordado de forma directa.

Por ultimo y no menos importante, este trabajo busca una contribución original y actualizada al análisis del precio de la gasolina en México al incorporar una perspectiva de largo plazo con énfasis ambiental y político, lo cual complementa y extiende los hallazgos existentes en la literatura. Aunque usa un modelo estadístico más simple (regresión lineal y ajuste debido a la adopción de vehículos eléctricos) compensa esto con una amplia integración de factores estructurales y políticos que muchos estudios no consideran de manera sistemática. Asimismo, ofrece una visión de futuro alineada con los cambios tecnológicos y normativos en materia energética que son presentados a continuación mediante los acuerdos internacionales.

2. Acuerdo Internacionales

Los Acuerdos de París son un tratado internacional adoptado en 2015. Su objetivo principal es limitar el aumento de la temperatura global 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales, con el fin de evitar efectos adversos producidos por el cambio climático (Di Pietro, 2019).

México forma parte de los acuerdos de París y se compromete a reducir sus emisiones de carbono y por ello México está comprometido a impulsar el uso de fuentes renovables de energía y la adopción de medios de transporte alternativos que le permitan alcanzar sus metas de descarbonización (Torres, 2019).

Otro compromiso internacional al que México está suscrito es la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 y sus objetivos de Desarrollo Sostenible los cuales son una serie de 17 objetivos propuestos por las Naciones

Unidas cuyo objetivo es reducir la pobreza y pobreza extrema como un requisito para conseguir un desarrollo sostenible. Este es un compromiso firmado en 2015 y fue una decisión histórica enfocado en mejora de la vida de las personas (FAO,2018).

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus 169 Metas son de alcance mundial y de aplicación universal. y cada país decide la forma de incorporar la Agenda 2030 en sus procesos de planificación, políticas y estrategias nacionales (FAO,2018).

Uno de los objetivos enfocados en las energías renovables es el objetivo 7 el cual busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. México ha emprendido diversas acciones para dar respuesta a sus compromisos internacionales para garantizar el acceso a energías sostenibles y la reducción de emisiones de carbono.

Como parte de sus acciones para reducir sus emisiones de carbono México ha iniciado políticas de electromovilidad, entre ellas se encuentra La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030, la cual surge en 2018 como una iniciativa nacional por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual busca encontrar alternativas de movilidad sustentable a mediano y largo plazo, con el fin de que sean tomadas como un plan transexenal (SEMARNAT, 2018).

La principal apuesta de esta estrategia es alcanzar hacia el año 2030 la introducción de 7 millones de vehículos eléctricos e híbridos, tanto ligeros como pesados, que aporten una reducción de 21.3 millones de toneladas de dióxido de carbono, lo cual tendría un importante impacto en la sociedad al mejorar la calidad del aire, reducir la congestión vehicular y contribuir a la reducción del calentamiento global (Linares, 2023).

De acuerdo con esta estrategia para 2030 las 10 ciudades con mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos del país, deberán contar con al menos una opción de transporte público con tecnología eléctrica. Para 2050, se busca tener un 100% de ventas de vehículos eléctricos e híbridos, con una red de cargadores cada 5 km y consolidar un sistema de transporte de carga electrificada (Linares, 2023). A continuación, se presentan algunos de los obstáculos para alcanzar los objetivos planteados en la estrategia nacional de electromovilidad (Linares, 2023):

- Reducir los costos de producción y precios de los autos al consumidor final
- Implementar una política de subsidios para estimular la compra de autos eléctricos
- Mayor autonomía de las baterías
- Desarrollo de una red de recarga pública
- Fomentar la cultura sobre las ventajas ecológicas de utilizar autos eléctricos

Respecto a los modelos de estimación de precios algunos trabajos se han centrado en estudiarlo con base en la oferta y la demanda (Sánchez et al., 2015), (Ibarra & Sotres, 2022), mientras que otros se basan en modelos Econométricos, dichos modelos utilizan datos históricos para identificar relaciones entre el precio de la gasolina y sus factores determinantes. Algunos ejemplos (Castilla & Chocano, 2024) incluyen modelos ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) y VAR (Vector Auto Regressive). Por otro lado, se tiene los modelos de series temporales: Estos modelos se enfocan en analizar patrones y tendencias a lo largo del tiempo. Incluyen análisis de regresión y descomposición estacional para prever futuras fluctuaciones en los precios. Un ejemplo es (Brenes, 2018) donde se presenta un modelo matemático de ajuste (o predicción) de precios de Evans que permite

estimar-pronosticar a corto plazo los precios de un producto conociendo los datos históricos como son el precio, la oferta y la demanda.

Finalmente, han sido estudiados los modelos basados en redes neuronales y machine learning dado al avance de la inteligencia artificial (Del Cisne et al., 2024), (Díaz et al., 2023), (Salazar et al., 2023), (Ojeda et al., 2019) estos modelos han ganado popularidad. Utilizan grandes cantidades de datos para identificar patrones complejos y realizar predicciones más precisas. La estimación del precio de la gasolina en México es un campo complejo que requiere considerar una variedad de factores interrelacionados. Los avances en técnicas de modelado y análisis de datos continúan mejorando la precisión de las predicciones, aunque la incertidumbre en mercados globales y políticas nacionales (Prado, 2019).

Dentro de los mercados globales es importante considerar la producción, distribución y comercialización de gasolina, han sido históricamente controladas por el gobierno mexicano a través de Petróleos Mexicanos (Pemex). Sin embargo, en años recientes, se han implementado políticas de apertura y liberalización para fomentar la competencia y la inversión extranjera en el sector energético (Varela & Carbajal, 2022). En resumen, la gasolina en México no solo juega un papel crucial en la economía y la energía del país, sino que también desempeña un rol central en la política nacional y en las dinámicas sociales. Su disponibilidad, gestión y precio continúan siendo temas clave en la agenda política y económica, con implicaciones significativas para el futuro desarrollo sostenible de México. Por tal motivo, en este artículo se presenta el contexto global de transición energética y fluctuaciones económicas, el análisis y la estimación de los precios de la gasolina en México para los próximos años se presentan como un desafío crucial.

En este trabajo se presenta la estimación de precios futuros utilizando el método de mínimos cuadrados, considerado como una técnica común en análisis de series temporales y regresión lineal. La estimación para los precios futuros usando el método de mínimos cuadrados se basa en la recopilación de datos, en este caso son recopilados solamente los precios históricos, después se lleva a cabo la preparación de los datos, es decir, se organizan los datos en un formato adecuado. En este caso se tendrán dos variables: el tiempo medido en años y los precios correspondientes.

Por otro lado, será aplicado el modelo de regresión lineal que ayuda a ajustar un modelo de regresión lineal con los datos históricos, permitiendo el cálculo de los coeficientes. Estos se calculan minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Una vez que se tiene el modelo ajustado con los coeficientes, se usa para predecir los precios futuros, introduciendo un factor de corrección para ajustar los precios al alza o a la baja según 2 escenarios donde se modela la aplicación de distintas políticas públicas. Lo anterior permitirá estimar mediante un modelo hibrido los precios en años futuros, la proyección de los precios se realiza hasta el año 2050 y se propone un rango de precios entre el modelo al alza y el modelo a la baja.

Sin embargo, a pesar de tener un modelo de predicción de los precios, en este artículo se realiza la discusión de los resultados considerando que para esos años la tecnología buscará reemplazar los vehículos basados en combustibles (gasolina), por vehículos sustentables, es decir, eléctricos o al menos híbridos.

3. Materiales y métodos

El presente estudio realizó una estimación del precio futuro de la gasolina en México utilizando una regresión lineal basada en datos históricos de precios, abarcando desde el año 1990 hasta 2023. La regresión se construyó con un enfoque multivariable, incorporando factores macroeconómicos y políticos como la inflación, el Producto Interno Bruto (PIB), el tipo de cambio, las políticas fiscales, así como variables internacionales como el precio global del petróleo y crisis geopolíticas relevantes.

El modelo proyecta la evolución del precio de la gasolina hasta el año 2050, mostrando una tendencia al alza moderada en el escenario base, con variaciones sensibles ante eventos externos e internos. El análisis evidencia que los factores económicos (como el crecimiento del PIB y la inflación) tienen una relación directa significativa con el precio proyectado, mientras que el tipo de cambio y las crisis internacionales muestran una influencia indirecta, especialmente en escenarios de alta volatilidad.

Además, se incorporó un componente prospectivo cualitativo basado en las políticas públicas relacionadas con la transición energética, específicamente aquellas que promueven la electrificación del transporte. Los resultados sugieren que, si bien los precios tenderán a incrementarse, el consumo de gasolina podría presentar una tendencia descendente a partir de la década de 2030, impulsada por el aumento de vehículos eléctricos y el endurecimiento de regulaciones ambientales.

Esta proyección permite visualizar una posible disociación entre el precio y el volumen de consumo, fenómeno explicado por los cambios estructurales en la matriz energética nacional. Así, aunque los precios continúen elevándose, la demanda se reducirá gradualmente, lo que podría atenuar el impacto ambiental del sector transporte y facilitar la transición hacia un modelo más sostenible.

El método de mínimos cuadrados (Anderson *et al.,* 2010), (Lind *et al.,* 2019) es una técnica fundamental en estadística y análisis de datos que se utiliza para estimar los parámetros desconocidos de un modelo matemático, minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.

El método de mínimos cuadrados (Castilla & Chocano, 2024) ha sido usado en modelos lineales en aplicaciones como sistemas dinámicos (Burgos *et al.,* 2024), sistemas de cómputo (Lozada *et al.,* 2024), en cosechas (Quevedo *et al.,* 2023), en pandemias como la del COVID 19 (Ayala *et al., 2*022), competitividad de empresas (García *et al.,* 2024), activos financieros (Koren & Danilovskikh, 2024), estimación de precios (Brenes, 2018), entre otros, en el caso más simple se usa para ajustar una línea recta a los datos, donde son estimado parámetros capaz de minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos.

Por otro lado, también ha sido usado en modelos no lineales, ajustando una curva a los datos observados. Lo que implica la minimización de la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo no lineal. Finalmente, además de ajustar modelos lineales simples, el método de mínimos cuadrados se utiliza ampliamente en la regresión múltiple, donde se ajustan modelos que involucran múltiples variables independientes. Algunas ventajas son es un método estándar y bien establecido en estadística; además proporciona estimaciones precisas de los parámetros del modelo y es fácil de implementar y comprender. Entre sus

limitaciones están que puede ser sensible a valores atípicos, que requiere que el modelo subyacente sea especificado correctamente, finalmente, que, en modelos no lineales, la convergencia del método puede no ser tan fácil de obtener como en modelos lineales.

El método de mínimos cuadrados (Anderson *et al.*, 2010) se utiliza principalmente para ajustar una línea o curva a un conjunto de datos observados. La idea es encontrar la línea (o curva) que mejor se ajuste a estos datos minimizando la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. De manera formal, si tenemos un conjunto de datos (x_i, y_i) para $i = 1,2,3,4, \dots, n$ donde x_i son los valores de las variables independientes y y_i son los valores de las variables dependientes, el objetivo es encontrar la ecuación de la forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \qquad \textbf{(Ec. 1)}$$

Donde β_0 y β_1 son los parámetros que minimizan la suma de los cuadrados de los residuos, es decir:

$$\sum_{i=1}^{n} \big(y_i - (\beta_0 + \beta_1 x) \big)^2 . \qquad \textbf{(Ec. 2)}$$

En cuanto a la ecuación de la regresión estimada, si se conocen los parámetros β_0 y β_1 posible emplear la ecuación 1 para calcular el valor medio de y para un valor dado de β_0 y x. En el caso práctico estos parámetros son desconocidos y en muchos casos son estimados mediante datos muestrales. En el caso práctico se estiman estadísticos muestrales denotados por b_0 y b_1, que son estimaciones de los parámetros poblacionales de β_0 y β_1. Por lo tanto, pueden ser sustituidos en la ecuación de regresión por los valores de los estadísticos muestrales y es obtenida la ecuación de regresión estimada denotada como:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \qquad \textbf{(Ec. 3)}$$

Donde $\hat{y}_i$ es el valor estimado del precio, b_0 es la intersección de la recta de regresión con el eje y, b_1 es la pendiente de la recta de regresión y x_i es el año. En otras palabras, el proceso de estimación en la regresión lineal es dado mediante un modelo de regresión y una ecuación de regresión, donde se tienen los parámetros desconocidos β_0 y β_1. A partir de esto, son empleados los datos muestrales para estimar la ecuación de regresión mediante los estadísticos muestrales y así b_0 y b_1, son propuestos como estimaciones de β_0 y β_1 que permiten obtener un modelo o propuesta de un modelo de regresión lineal mediante una ecuación de regresión (ver Figura 1).

En el método de mínimos cuadrados son usados los datos muestrales con el fin de obtener valores de b_0 y b_1, capaz de minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los valores observados de la variable dependiente y_i y los valores estimados de la variable independiente x_i, el cual es dado mediante:

$$min \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \qquad \textbf{(Ec. 4)}$$

Para la estimación de los parámetros b_0 y b_1 capaces de minimizar la expresión (4) se tienen:

$$b_1 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \qquad \textbf{(Ec. 5)}$$

$$b_o = \bar{y} - b_i \bar{x} \qquad \textbf{(Ec. 6)}$$

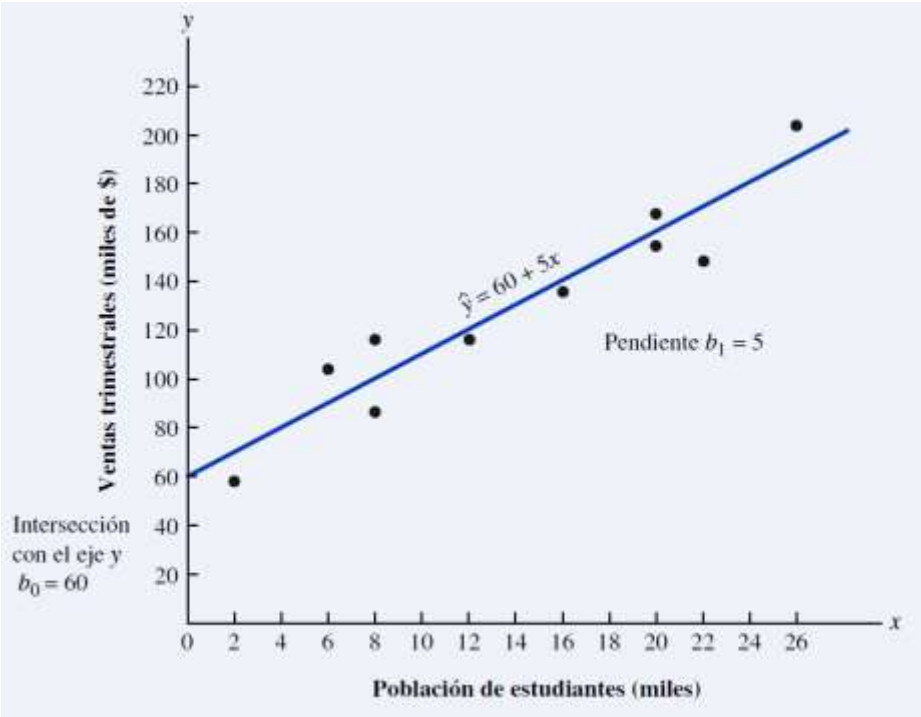


Figura 1. Ejemplo de la estimación mediante la recta de regresión lineal.
Fuente: (Anderson *et al.*, 2010).

Para estimar la predicción de precios de la gasolina en los próximos años se usan los datos históricos por año en México, dichos datos son los precios promedio. Para este ejercicio solamente se usan los precios promedio de la gasolina premium en México (Comisión Reguladora de Energía, 2024).

Tabla 2. Datos históricos del precio promedio de la gasolina premium en México.

Año	Precio de la gasolina
2003	$5.64
2004	$5.74
2005	$5.84
2006	$6.06
2007	$6.34
2008	$7.34
2009	$7.72
2010	$8.23
2011	$8.88
2012	$9.52
2013	$10.55
2014	$11.28
2015	$13.57
2016	$13.98
2017	$16.28
2018	$18.19
2019	$19.76
2020	$19.85
2021	$20.54
2022	$21.81
2023	$22.72
2024	$23.50

Fuente: Elaboración propia.

Para este ejemplo la variable x es dada por los años, mientras que la variable y es dada por los precios. Para aplicar el método de

mínimos cuadrados primero se estiman la media de x y y, esto es:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{22} = \frac{44297}{22} = 2013.5 \quad \textbf{(Ec. 7)}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{22} = \frac{291.14}{22} = 12.879091 \quad \textbf{(Ec. 8)}$$

Por otro lado:

$$b_1 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} = \frac{843.79}{841.84} = 1.002316355 \quad \textbf{(Ec. 9)}$$

$$b_o = \bar{y} - b_i\bar{x} = 12.879091 - 1.0023057(2013.5) = -2005.2634 \quad \textbf{(Ec. 10)}$$

Así, la ecuación de regresión estimada mediante los valores de los estadísticos es denotada como:

$$\hat{y} = 1.0023055x - 2005.2634 \quad \textbf{(Ec. 11)}$$

Por lo tanto, estimando los precios de la gasolina mediante la ecuación de regresión se tiene la siguiente Tabla 3. Donde el error es calculado mediante la diferencia entre el precio original y el precio estimado con la ecuación de regresión, la desviación es dada como la diferencia entre el precio y la media, finalmente, se calculan el error al cuadrado y la desviación al cuadrado.

Tabla 3. Datos para la estimación de la recta de regresión lineal para el precio de la gasolina.

Año (x_i)	**Precio de la gasolina** (y_i)	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$
2003	$5.64	-10.5	-7.2390909	76.0104545	52.4044372
2004	$5.74	-9.5	-7.1390909	67.8213636	50.966619
2005	$5.84	-8.5	-7.0390909	59.8322727	49.5488008
2006	$6.06	-7.5	-6.8190909	51.1431818	46.5000008
2007	$6.34	-6.5	-6.5390909	42.5040909	42.7597099
2008	$7.34	-5.5	-5.5390909	30.465	30.6815281
2009	$7.72	-4.5	-5.1590909	23.2159091	26.616219
2010	$8.23	-3.5	-4.6490909	16.2718182	21.6140463
2011	$8.88	-2.5	-3.9990909	9.99772727	15.9927281
2012	$9.52	-1.5	-3.3590909	5.03863636	11.2834917
2013	$10.55	-0.5	-2.3290909	1.16454545	5.42466446
2014	$11.28	0.5	-1.5990909	-0.79954545	2.55709174
2015	$13.57	1.5	-0.6909090	1.03636364	0.47735537

2016	$13.98	2.5	1.10090909	2.75227273	1.21200083
2017	$16.28	3.5	3.40090909	11.9031818	11.5661826
2018	$18.19	4.5	5.31090909	23.8990909	28.2057554
2019	$19.76	5.5	6.88090909	37.845	47.3469099
2020	$19.85	6.5	6.97090909	45.3109091	48.5935736
2021	$20.54	7.5	7.66090909	57.4568182	58.6895281
2022	$21.81	8.5	8.93090909	75.9127273	79.7611372
2023	$22.72	9.5	9.84090909	93.4886364	96.8434917
2024	$23.50	10.5	10.6209091	111.519545	112.80371
$\bar{x} = 2013.5$	$\bar{y} = 12.879091$			$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 843.79$	$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 841.84$

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 2 son mostrados los precios originales contra los precios estimados con la ecuación de regresiones timada mediante los valores estadísticos hasta el 2024.

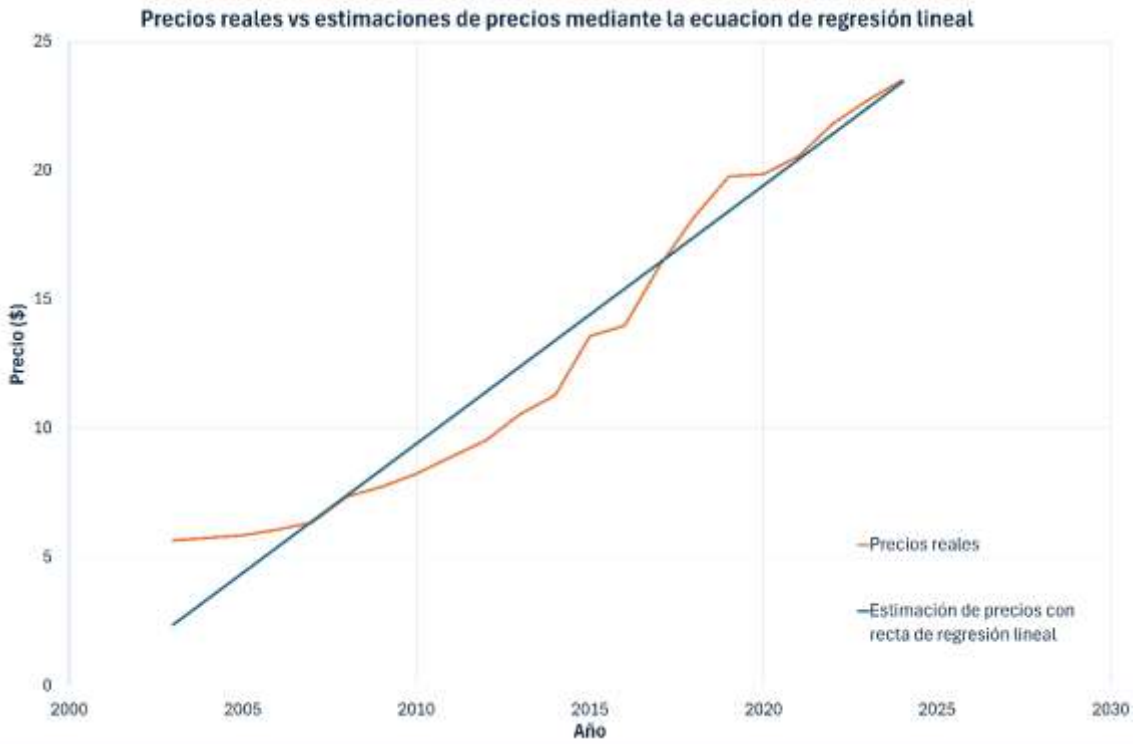


Figura 2. Precios reales de la gasolina vs precios estimados mediante la recta de regresión lineal hasta año 2024.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Datos para los precios estimados de la gasolina por años, errores y desviaciones.

Precios estimados $\hat{y}_i = 1.002316355x$ -2005.2634	**Error** $y_i - \hat{y}$	**Desviación** $y_i - \overline{y}$	**Error al cuadrado** $(y_i - \hat{y})^2$	**Desviación al cuadrado** $(y_i - \overline{y})^2$
2003→$2.376259065	3.26374093	-10.5028318	10.652004	110.3094767
2004→$3.37857542	2.36142458	-9.50051549	5.5763260	90.25979456
2005→$4.380891775	1.45910822	-8.49819913	2.1289968	72.21938852
2006→$5.38320813	0.67679187	5.38320813	0.4580472	28.97892977
2007→$6.385524485	-0.04552449	-6.49356642	0.0020724	42.1664049
2008→$7.38784084	-0.04784084	-5.49125007	0.0022887	30.15382732
2009→$8.390157195	-0.6701572	-4.48893371	0.4491106	20.15052589
2010→$9.39247355	-1.16247355	-3.48661736	1.3513447	12.15650061
2011→$10.39478991	-1.51478991	-2.484301	2.2945884	6.171751479
2012→$11.39710626	-1.87710626	-1.48198465	3.5235279	2.1962785
2013→$12.39942262	-1.84942262	-0.47966829	3.4203640	0.230081672
2014→$13.40173897	-2.12173897	0.52264806	4.5017762	0.273160996
2015→$14.40405532	-0.83405532	1.52496442	0.6956482	2.32551647
2016→$15.40637168	-1.42637168	2.52728077	2.0345361	6.387148095
2017→$16.40868804	-0.12868804	3.52959713	0.0165606	12.45805587
2018→$17.41100439	0.77899561	4.53191348	0.6068341	20.5382398
2019→$18.41332075	1.34667926	5.53422984	1.8135450	30.62769988
2020→$19.4156371	0.4343629	6.53654619	0.1886711	42.72643611
2021→$20.41795346	0.12204654	7.53886255	0.0148953	56.83444849
2022→$21.42026981	0.38973019	8.5411789	0.1518896	72.95173702
2023→$22.42258617	0.29741384	9.54349526	0.0884549	91.0783017
2024→$23.42490252	0.07509748	10.5458116	0.0056396	111.2141425

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia que existe, entre una observación *i* entre el valor de la variable dependiente y_i y el valor estimado de la variable dependiente $\hat{y}_i$, es conocido como residual. Por lo tanto, la suma de los cuadrados de los residuales o errores es determinada como la cantidad que se minimiza mediante el método de mínimos cuadrados también es conocida como la suma de cuadrados debida al error y es denotada como:

$$SCE = \sum(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \textbf{(Ec. 12)}$$

Por otro lado, de manera similar es estimada la diferencia $(y_i - \bar{y})$ que brinda una medida de error con base en la media, la suma de cuadrados es llamada la suma totas de cuadrados denotada como:

$$STC = \sum(y_i - \bar{y})^2 \quad \textbf{(Ec. 13)}$$

Mientras que, para medir qué tanto se desvían de $\bar{y}$ los valores $\hat{y}_i$ de la recta de regresión, se calcula la suma de cuadrados debido a la regresión dada como:

$$SCR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad \textbf{(Ec. 14)}$$

Que permiten obtener una medida de ajuste de la ecuación de regresión estimada. En (Anderson *et al.*, 2010) se presenta la relación entre STC, SCR y SCE:

$$STC = SCR + SCE \quad \textbf{(Ec. 15)}$$

La SCE es una medida del error al emplear la ecuación de regresión estimada para calcular los valores de la variable dependiente en los elementos de la muestra (Anderson *et al.*, 2010). Es decir, la ecuación de regresión estimada estaría ajustada perfectamente a los datos si cada uno de los valores de la variable y_i se encuentran en la recta de regresión. Lo que implicaría que para cada observación se tendría que $(y_i - \hat{y}_i)$ sea igual a cero, es decir, la $SCE = 0$, o, $SCR = STC$. En otras palabras, el cociente $\frac{SCR}{STC} = 1$. Un caso particular se tiene cuando los ajusten son malos implicará que los valores de la SCE serán altos.

$$SCE = 39.977123 \quad \textbf{(Ec. 16)}$$

$$STC = 862.4078469 \quad \textbf{(Ec. 17)}$$

$$SCR = 822.4307237 \quad \textbf{(Ec. 18)}$$

$$r^2 = \frac{822.4307237}{862.4078469} = 0.953644759 \quad \textbf{(Ec. 19)}$$

En el caso del cociente SCR/STC toma siempre valores entre cero y uno, y es usado para evaluar la calidad de ajuste de la ecuación de regresión estimada. Dicho cociente es llamado el coeficiente de determinación (Anderson *et al.*, 2010) denotado como:

$$r^2 = \frac{SCR}{STC} \quad \textbf{(Ec. 20)}$$

Expresado de manera porcentual y es interpretado como el porcentaje de la suma total de cuadrados. A partir del coeficiente de determinación puede ser calculado el coeficiente de correlación muestral. El valor del coeficiente de correlación muestral va de -1 hasta +1. El valor +1 indica que las dos variables x y y están perfectamente relacionadas en una relación lineal positiva. Es decir, los puntos de todos los datos se encuentran en una línea recta que tiene pendiente positiva. El valor -1 indica que x y y están perfectamente relacionadas, en una relación lineal negativa, todos los datos se encuentran en una línea recta que tiene pendiente negativa. Los valores del coeficiente de correlación cercanos a cero indican que x y y no están relacionadas linealmente.

$$r_{xy} = sgn(b_1)\sqrt{r^2} \quad \textbf{(Ec. 21)}$$

Donde $sgn(b_1)$ es dado como el signo del coeficiente b_1 . Para el caso mostrado se tienen las siguientes sumas de cuadrados y los siguientes coeficientes estimados:

$$r_{xy} = \sqrt{0.953644759} = 0.976547367 \quad \textbf{(Ec. 22)}$$

Por lo tanto, el valor +0.976547367 indica que las dos variables x y y tienen una buena relación mediante una relación lineal positiva.

4. Resultados y discusión

Considerando los resultados anteriores, los puntos de los datos se encuentran en una línea recta que tiene pendiente positiva. Si es considerado en términos de porcentaje se tiene el 97.65%, por lo que, es aceptable la recta de regresión lineal estimada para poder estimar los precios de la gasolina en los próximos años, es decir, evaluando la ecuación 12 en los años correspondientes se tienen los siguientes datos hasta el año 2050.

Tabla 5. Datos de precios estimados para años posteriores al 2024 mediante la recta de regresión lineal.

Año	Precio estimado de la gasolina
2025	$24.42721888
2026	$25.42953523
2027	$26.43185159
2028	$27.43416794
2029	$28.4364843
2030	$29.43880065
2040	$39.4619642
2050	$49.48512775

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 3 son mostrados los precios originales contra los precios estimados con la ecuación de regresiones timada mediante los valores estadísticos hasta el 2050.

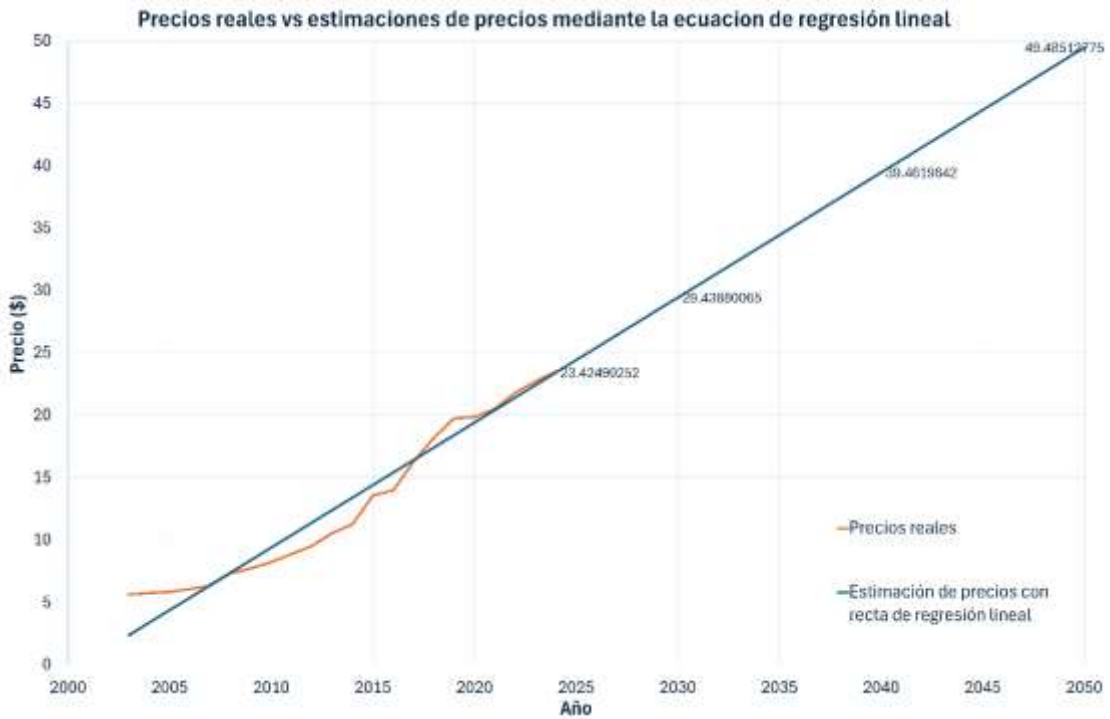


Figura 3. Precios reales de la gasolina vs precios estimados mediante la recta de regresión lineal hasta el año 2050.
Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, puede verse que la tendencia del uso de gasolina en México puede ser estimada, aunque ésta varia con base varios factores, incluyendo la economía, los precios del petróleo, políticas gubernamentales, y cambios en la infraestructura de transporte, entre otros. Finalmente, en la Figura 4 se presentan las gráficas del error y error cuadrático que muestran que la recta estimada mediante el método de regresión lineal para este ejemplo práctico tiende a cero, a pesar de algunas fluctuaciones durante el proceso de estimación presentado.

Para analizar la validación del modelo obtenido, se recurre a las pruebas t y F para los parámetros del modelo obtenido del método de mínimos cuadrados. Estas pruebas muestran la significancia estadística de los parámetros del modelo, el análisis se realizó con la biblioteca statsmodels.api de python la cual muestra un resumen general del modelo lineal a continuación se presentan los valores obtenidos en las pruebas t y F.

Prueba t

Los resultados los puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros de la prueba t.

Coeficientes	Valor	p>|t|
B0	-2005.2634	5.9952E-15
B1	1.0023055	6.8834E-15

Fuente: Elaboración propia.

Prueba F

Los resultados los puede observar en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de la prueba F.

Estadístico-F	Prob (Estadístico-F):
425.3189	5.995E-15

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de estas pruebas arroja una probabilidad para la prueba t con valores cercanos a cero mientras que para la prueba F se tiene una probabilidad prácticamente nula lo cual indica que los coeficientes tienen un alto grado de significancia estadística. Por otra parte, se realizó la prueba de Breusch-Pagan para detectar homocedasticidad. A continuación, se presentan los resultados obtenidos mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8. Parámetros de la prueba Breusch-Pagan.

LM Statistic	3.4083
LM p-value	0.0649
F-statistic	3.6665
F p-value	0.0699

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de Breusch-Pagan arroja los siguientes valores para LM p-value y F p-value (0.0649 y 0.0699) los cuales superan el umbral del 5%. Por lo que se cumple la homocedasticidad. Finalmente se presenta el histograma de residuales y Q-Q-plot en la Figura 4.

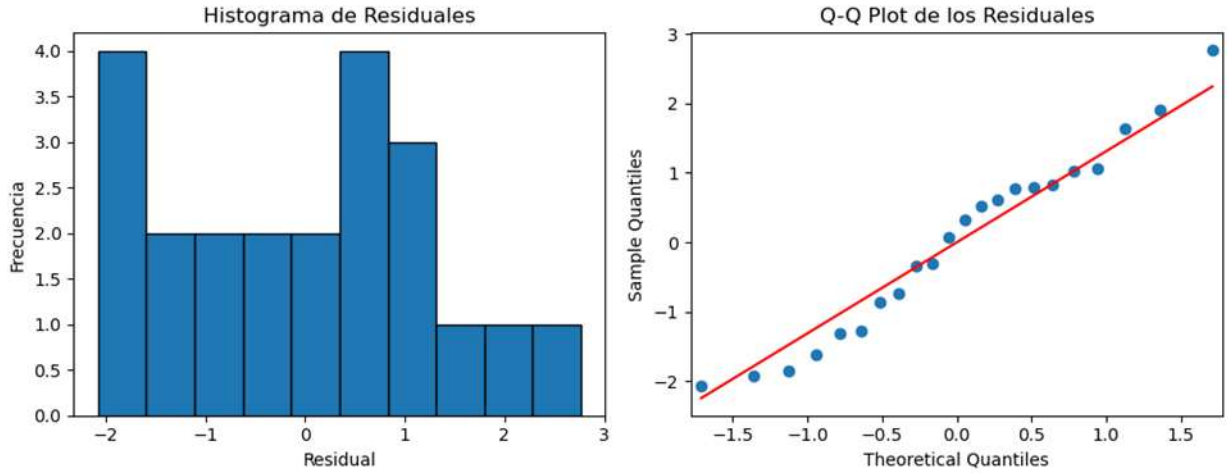


Figura 4. Histogramas de residuales y Q-Qplot de los residuales.
Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, la regresión lineal presenta coeficientes altamente significativos, con p-valores iguales a cero en las pruebas t y F. Esto indica que el modelo explica de manera significativa el precio de la gasolina. Asimismo, en las pruebas de Breusch-Pagan se obtienen valores que prueban homocedasticidad en el modelo.

Sin embargo, se observa que la distribución del histograma de residuales no tiene una distribución normal lo cual indica que dentro del conjunto de datos hay algunos datos atípicos que indican la presencia de un sesgo en los mismos sin embargo esto no afecta considerablemente la efectividad del modelo ya que los datos más recientes de la gasolina tienen un mejor ajuste al modelo propuesto lo cual se puede ver en el gráfico de error y error cuadrático que se muestra a continuación (ver Figura 5).



Figura 5. Error y error cuadrático medio de los precios reales vs precios estimados.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados estadísticos obtenidos para el modelo de regresión lineal reflejan un buen desempeño en términos de significancia de los coeficientes y validez de los supuestos clásicos del modelo. En primer lugar, las pruebas t para los coeficientes y la prueba F

global arrojan p-valores cercanos a cero, lo que indica que los coeficientes estimados son altamente significativos y que el modelo en su conjunto explica de manera estadísticamente relevante la variabilidad observada en el precio de la gasolina. Esto refuerza la confianza en que la relación lineal planteada entre el año y el precio es válida para el conjunto de datos analizado.

En cuanto a la homocedasticidad, la prueba de Breusch-Pagan devuelve valores para los p-valores del estadístico LM (0.0649) y del estadístico F (0.0699) que son superiores al nivel de significancia convencional del 5%. Esto implica que no se rechaza la hipótesis nula de varianza constante de los errores, cumpliéndose así el supuesto de homocedasticidad. El hecho de que los p-valores estén algo cercanos al umbral puede sugerir una tendencia incipiente a heterocedasticidad, que podría monitorearse en análisis futuros, pero por ahora el modelo cumple con este supuesto esencial para garantizar estimaciones eficientes y válidas.

Sin embargo, el análisis de los residuos mediante el histograma y el Q-Q plot indica que la distribución de los residuos no se ajusta perfectamente a una distribución normal. La presencia de algunos datos atípicos o valores extremos genera un sesgo en la distribución de los errores. Esta desviación de la normalidad puede limitar ciertos supuestos estadísticos relacionados con la inferencia y la construcción de intervalos de confianza, especialmente en muestras pequeñas o con alta varianza.

A pesar de esta desviación, el impacto sobre la validez y efectividad del modelo es limitado. Se observa que, en los datos más recientes, el ajuste del modelo mejora notablemente, lo cual es consistente con la hipótesis de que las tendencias históricas más cercanas al presente son las que mejor explican la evolución del precio de la gasolina. Esto sugiere que, aunque el modelo pueda presentar limitaciones en su ajuste general debido a valores atípicos históricos o cambios estructurales, es robusto para la predicción y análisis de corto y mediano plazo.

Finalmente, el buen comportamiento del error cuadrático y su gráfica asociada confirman la capacidad del modelo para captar la dinámica de precios, reforzando la utilidad práctica del modelo para proyecciones y análisis prospectivos, siempre reconociendo la necesidad de interpretar con cautela las predicciones a largo plazo debido a la complejidad y la posible influencia de variables no incluidas en el modelo.

5. Modelo híbrido: (regresión lineal + ajuste debido a la adopción de VE)

Para complementar los resultados anteriores, se propone el siguiente modelo híbrido para la estimación de la evolución del precio de la gasolina premium en México. Es importante mencionar que este modelo considera dos escenarios posibles: por una parte, en un primer escenario se prevé un aumento de la carga impositiva sobre la gasolina con el fin de desincentivar el uso de los vehículos de combustión interna. Este escenario se plantea a partir de lo observado en otros países donde la adopción de los vehículos eléctricos se ha acelerado como consecuencia de políticas públicas y la intervención del estado mediante subsidios, incentivos fiscales, impuestos sobre los combustibles entre otros.

Por otra parte, bajo un segundo escenario se prevé una ligera disminución en la carga impositiva sobre los combustibles. El propósito de esta reducción sería apoyar a los distribuidores de gasolina y sectores de la sociedad donde la adopción de los vehículos eléctricos fuera más difícil (debido a la reducida autonomía de los vehículos eléctricos, falta de infraestructura, etc.).

Las prospectivas presentadas parten de las siguientes premisas:

- No se consideran los efectos de conflictos militares o geopolíticos.
- No se toman en cuenta el efecto de devaluaciones o crisis económicas.
- El precio mínimo de la gasolina proyectado en un caso extremo se aproximaría al costo base de la gasolina sin considerar la carga impositiva sobre la misma ajustado a la inflación futura.
- La proyección que se hace se basa en las expectativas de transición energética consecuencia de la firma de tratados internacionales y las prospectivas de adopción de vehículos eléctricos debido al crecimiento acelerado que ha tenido esta industria.
- Las previsiones pueden adelantarse o retrasarse según factores externos como avances tecnológicos, crisis económicas, conflictos militares o geopolíticos) y este modelo sólo se basa en el análisis de una variable: la tasa de adopción proyectada de vehículos eléctricos y el efecto que esto tiene y podría tener en las políticas públicas del país.

Considerando las premisas anteriores las ecuaciones 24 y 25 no fueron generadas como extrapolaciones simples de la regresión lineal básica, sino que incorporan un factor de corrección no lineal de naturaleza exponencial que modela las transformaciones estructurales esperadas en el mercado energético, particularmente a partir de 2025.

Las ecuaciones 24 y 25 están definidas con base en la forma general del siguiente modelo:

$$y = (\mathrm{a} \cdot \mathrm{Año} + \mathrm{b}) \cdot \left(\alpha e^{\lambda(\mathrm{Año}-2025)} + (1-\alpha)\right) \qquad \textbf{(Ec. 23)}$$

Donde a y b representan los coeficientes de la regresión lineal y los parámetros λ y α son estimados a partir de los precios históricos de la gasolina en México. Los componentes multiplicadores actúan como una modulación dinámica, donde: la ecuación 24 (escenario a la baja) utiliza un exponente negativo, representando una disminución progresiva del precio proyectado, en escenarios de transición energética rápida, crecimiento del parque vehicular eléctrico y políticas fiscales sostenibles.

Mientras que, la ecuación 25 (escenario al alza) usa un exponente positivo, que simula un crecimiento acelerado del precio ante choques externos, rezago en la adopción tecnológica o dependencia persistente de combustibles fósiles. Estas expresiones no contradicen el modelo lineal base, sino que introducen una forma de ajuste asimétrico sobre la tendencia central, con base en criterios prospectivos, más cualitativos, asociados a variables de difícil modelación directa como regulaciones futuras, volatilidad geopolítica o cambios tecnológicos disruptivos.

No obstante, se reconoce que, para brindar mayor solidez estadística, los escenarios proyectados pueden ser complementados mediante la estimación de intervalos de confianza de los coeficientes de la regresión. Esto permitiría derivar una banda de predicción estadística que cuantifique el rango de variación esperada del precio bajo supuestos normales de incertidumbre. De esta manera, se propone incorporar estos intervalos para fortalecer el análisis y servir como base cuantitativa complementaria a las expresiones de las Ecs. 24 y 25.

A) Escenario 1 IEPS a la baja para apoyar a los distribuidores de gasolina

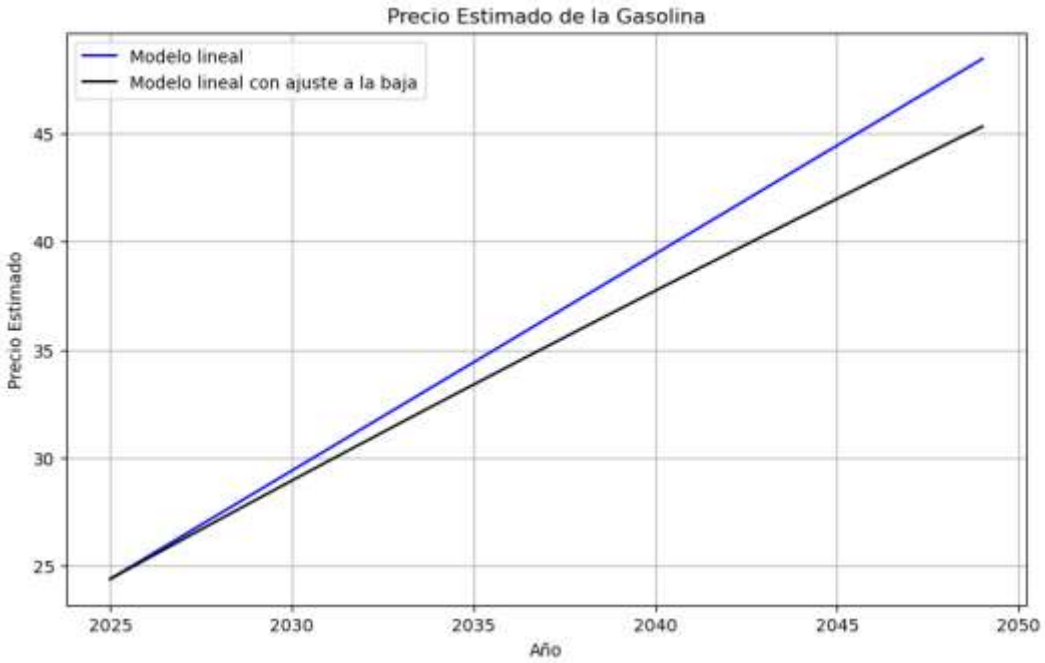


Figura 6. Precio estimado de la gasolina mediante modelo lineal con ajuste a la baja.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo matemático propuesto para el escenario 1, es el siguiente dado por la ecuación 24.

$$y = (0.9529 \cdot \text{Año} - 1905.7784) \cdot \left(0.20\left(e^{-(\text{Año-}2025)*0.01622}\right) + 0.80\right) \qquad \textbf{(Ec. 24)}$$

Se ha realizado un ajuste al modelo lineal inicialmente propuesto. Donde se ha agregado un factor de corrección que busca modelar la reducción del IEPS hacia el año 2050 donde se proyecta una disminución del mismo hasta llegar al 13%.

En este modelo se considera que la venta de vehículos eléctricos aumentará y habrá una menor demanda de gasolina. Bajo este escenario se considera que el gobierno podría reducir el porcentaje que cobra por concepto de IEPS el cual actualmente alcanza aproximadamente el 20% del precio total del combustible.

Se propone una reducción gradual del IEPS en un 30% hacia el año 2050, este porcentaje se está considerando proporcional a la caída de ventas de automóviles de combustión interna que sería de alrededor del 30% de acuerdo con proyecciones de Bloomberg (Shankleman, 2018). Sin embargo, esta sólo es una estimación conservadora ya que el gobierno podría en un caso extremo eliminar el IEPS y llevar los precios de la gasolina a un nivel más bajo.

B) Escenario 2 IEPS al alza para desincentivar el uso de vehículos de combustión interna.

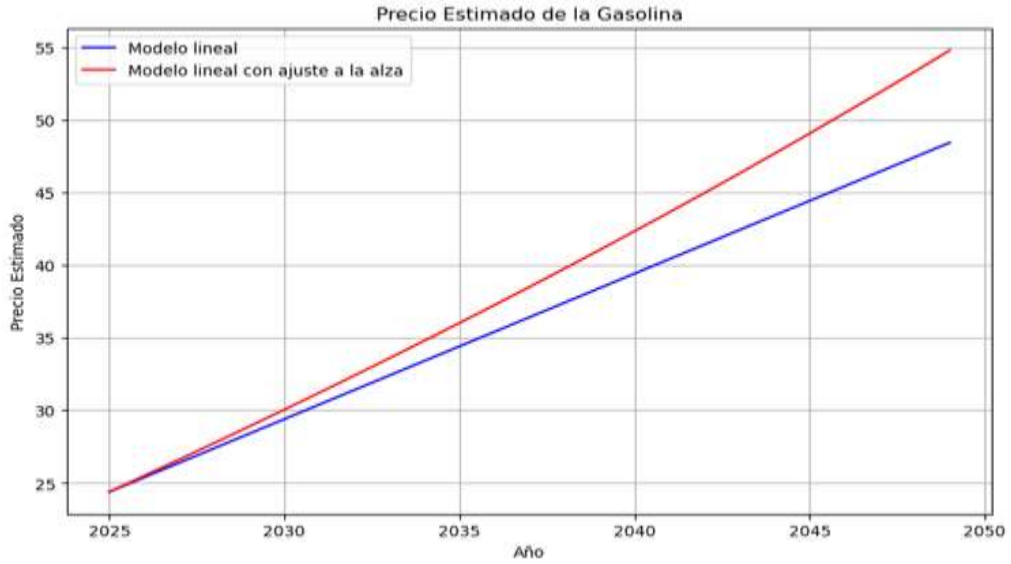


Figura 7. Precio estimado de la gasolina mediante modelo lineal con ajuste al alza.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo matemático propuesto para el escenario 2, es el siguiente dado por la ecuación 25.

$$y = (0.9529 \cdot \text{Año} - 1905.7784) \cdot \left(0.20\left(e^{(\text{Año-2025})*0.021}\right) + 0.80\right) \qquad \textbf{(Ec. 25)}$$

En este modelo matemático se propone un factor de corrección que se aplica al modelo lineal. El primer término del factor de corrección es una propuesta para modelar el comportamiento del IEPS hacia el año 2050, en este factor se consideran 2 términos el primero corresponde al aumento del IEPS y el segundo el precio de la gasolina sin el IEPS. Se busca modelar el aumento del IEPS hacia el año 2050 donde se proyecta un aumento del mismo hasta llegar al 30%.

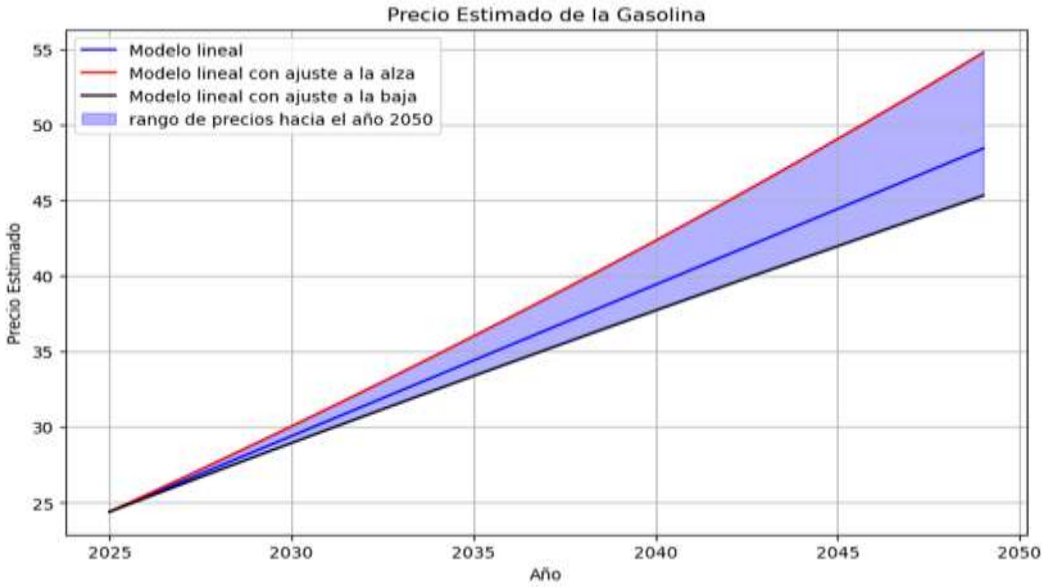


Figura 8. Rango de precios de la gasolina hacia el año 2050.
Fuente: Elaboración propia.

En este modelo se considera que el gobierno aumentaría el porcentaje que cobra por concepto de IEPS para acelerar la adopción de vehículos eléctricos y desincentivar el uso de vehículos de combustión interna.

Bajo este escenario se proyecta un aumento gradual del IEPS hasta llegar al 30% hacia el año 2050, este valor de 30% se propone igual al impuesto promedio que actualmente se cobra en la Unión Europea donde se han establecido altas cargas impositivas en los combustibles en concordancia con sus políticas medioambientales y su objetivo de reducir el uso de combustibles fósiles (Macumber-Rosin & Hoffer, 2024).

Pruebas de autocorrelación

Tras haber planteado un modelo preliminar utilizando el método de mínimos cuadrados se procedió a revisar si los datos históricos presentados tienen autocorrelación. Por ello se revisó la autocorrelación de los datos históricos de la gasolina para definir si es viable el uso de un modelo auto-correlacional para su descripción, a continuación, se presentan los resultados obtenidos. Se utilizaron las librerías de Python: statsmodels.tsa.stattools y statsmodels.stats.diagnostic.

Las cuales nos permitieron evaluar las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial y realizar la prueba de Ljung-Box las cuales se describe a continuación (Hyndman & Athanasopoulos, 2021):

- ACF (Función de autocorrelación): Esta función mide la correlación de la serie con sus valores pasados en distintos lags. Lo cual permite identificar patrones como ciclos o tendencias.
- PACF (Función de autocorrelación Parcial): Esta función mide la correlación directa de cada rezago (lag), lo cual permite identificar el orden de un modelo autorregresivo (AR).

Test de Ljung–Box: evalúa de forma estadística si el conjunto de autocorrelaciones es distinto de cero, confirmando de esta forma si existe correlación en la serie.

Resultados de las pruebas

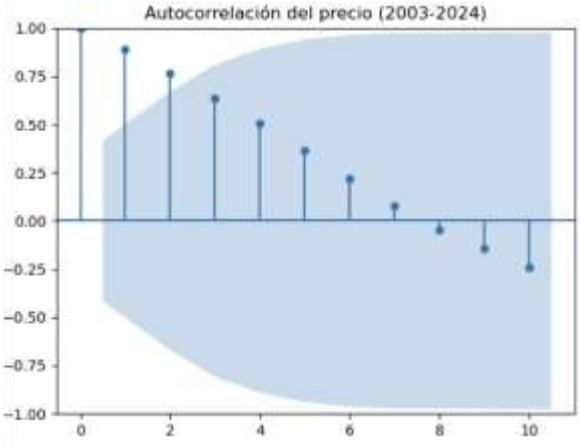


Figura 9. Función de autocorrelación.
Fuente: Elaboración propia.

Función de autocorrelación

En la figura 9 se muestran los valores para la función de autocorrelación del precio y se observa que inicia con valores grandes y gradualmente comienzan a decrecer lo cual indica que los valores pasados influyen de manera progresiva en los valores actuales lo cual es un indicativo se está ante un proceso autorregresivo.

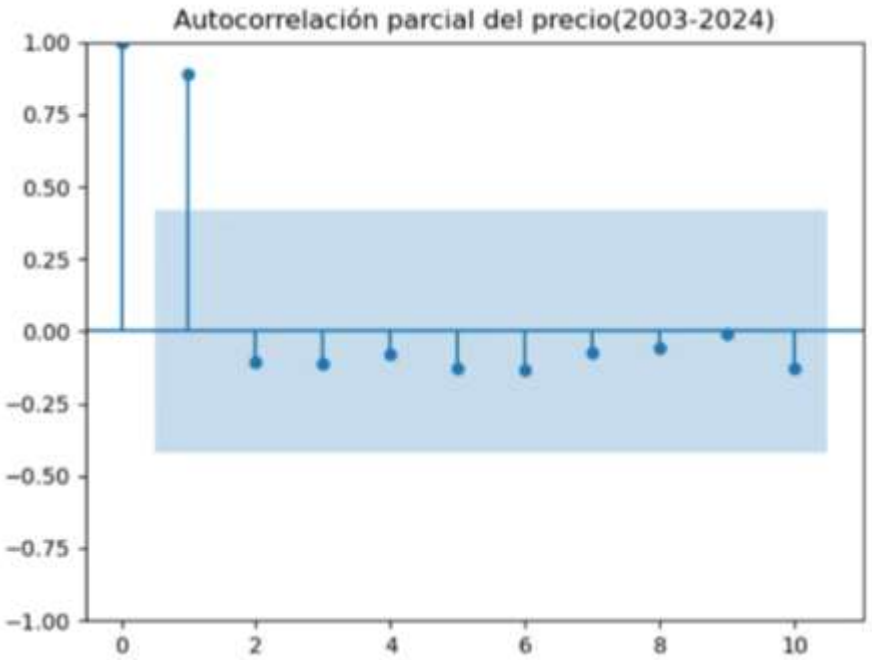


Figura 10. Función de autocorrelación parcial.
Fuente: Elaboración propia

Función de autocorrelación parcial

En el gráfico de autocorrelación parcial, figura 10 se observan los diferentes valores para los lags desde un valor igual a 0 hasta 10 se observa que para los lags significativos mayores a cero el único que tiene un valor considerable es el lag igual a uno mientras que los demás tienen un valor considerablemente mentor y sin una variación considerable a través de los mismos. Lo cual es una fuerte indicación que el comportamiento de los datos puede ser descrito por un modelo autorregresivo de grado 1 AR(1).

Test de Ljung–Box

Los resultados se pueden observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Test de Ljung-Box.

Lags	Estadístico (LB)	Valor p
5	58.01	3.14×10^{-11}
10	63.29	8.58×10^{-10}

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones de las pruebas

Los valores p extremadamente bajos indican que existe autocorrelación significativa en la serie hasta los rezagos evaluados. Esto sugiere que error de la serie no es aleatorio y un modelo autorregresivo podría ser apropiado.

Tras el análisis de las pruebas se llega a la conclusión que los datos de la serie de tiempo muestran signos de autocorrelación: es decir el dato actual depende de los datos pasados. Por ello se propone un modelo GLS (General Least Square) el cual es útil para estimaciones a largo plazo cuando existe autocorrelación. El cual difiere de los modelos ARIMA los cuales tienen mayor variabilidad en proyecciones a largo plazo lo cual se busca evitar para poder hacer una estimación más estable.

Método de Mínimos cuadrados generalizado

Siguiendo el desarrollo de (Sorensen, 2017) se considera el siguiente modelo lineal:

$$Y = X\beta + \varepsilon, \quad \textbf{(Ec. 26)}$$

Donde la matriz $N \times K$ de regresores X es fija, independiente del término de error, y de rango completo, y la varianza del error ya no es $\sigma^2 I$, sino Var $(\varepsilon) = \sigma^2 \Omega$.

Dado que Ω es una matriz de varianza, es simétrica y definida positiva, por lo que podemos tomar la raíz cuadrada de Ω y de Ω^{-1}. Supongamos, para simplificar, que tomamos una raíz cuadrada simétrica. Dado la anterior resulta lo siguiente:

$$\Omega^{-1/2}\Omega\Omega^{-1/2} = I. \quad \textbf{(Ec. 27)}$$

Ahora multiplicando por la izquierda la ecuación 26, se obtiene la ecuación transformada:

$$\Omega^{-1/2}Y = \Omega^{-1/2}X\beta + \Omega^{-1/2}\varepsilon. \quad \textbf{(Ec. 28)}$$

Definiendo

$$\tilde{Y} = \Omega^{-1/2}Y, \ \widetilde{X} = \Omega^{-1/2}X, \ \ U = \Omega^{-1/2}\varepsilon, \quad \textbf{(Ec. 29)}$$

Se tiene

$$\tilde{Y} = \tilde{X}\beta + U. \quad \textbf{(Ec. 30)}$$

Esta es una ecuación lineal con Var $(U) = \sigma^2 I$, por lo que satisface todos los supuestos del método de mínimos cuadrados (Además, si ε es normalmente distribuido, U también lo es). Por supuesto, sabemos que, para estimar la ecuación anterior eficientemente, usamos el estimador de método de mínimos cuadrados:

$$\hat{\beta} = (\tilde{X}'\tilde{X})^{-1}\tilde{X}'\tilde{Y}. \quad \textbf{(Ec. 31)}$$

Ahora, sustituyendo la definición de estas variables:

$$\hat{\beta} = ((\Omega^{-1/2}X)'\Omega^{-1/2}X)^{-1}(\Omega^{-1/2}X)'\Omega^{-1/2}Y \quad \textbf{(Ec. 32)}$$

Y dado que $\Omega^{-1/2}\Omega^{-1/2} = \Omega^{-1}$, se tiene

$$\hat{\beta} = (X'\Omega^{-1}X)^{-1}X'\Omega^{-1}Y, \quad \textbf{(Ec. 33)}$$

El cuál es el estimador del método generalizado de mínimos cuadrados.

En el caso de que la matriz de varianza Ω es desconocida un método sencillo para calcular sus valores cual utiliza los residuos del modelo OLS (Ordinary least squares). Es decir, primero se ajusta el modelo por el método ordinario de mínimos cuadrados y se obtienen los residuos $\hat{\varepsilon} = Y - X\hat{\beta}_{\text{OLS}}$.

Luego, se construye una estimación de la matriz de varianzas y covarianzas de los errores como $\widehat{\Omega} \approx \frac{1}{N}\hat{\varepsilon}\hat{\varepsilon}'$ y se reemplaza en el estimador GLS para obtener el GLS factible (FGLS)**:**

$$\hat{\beta}_{\text{FGLS}} = (X'\widehat{\Omega}^{-1}X)^{-1}X'\widehat{\Omega}^{-1}Y \quad \textbf{(Ec. 34)}$$

Modelo corregido

Tras aplicar el método de mínimos cuadrados generalizados GLS (General Least Square) se obtuvo la siguiente ecuación base para el modelo:

$$y = (1.1718 \cdot \text{Año} - 2348.04) \quad \textbf{(Ec. 35)}$$

Y aplicando los factores multiplicativo. para la corrección al alza y a la baja se obtiene:

$$y = (1.1718 \cdot \text{Año} - 2348.04) \cdot \left(0.20\left(e^{(\text{Año-2025})*0.021}\right) + 0.80\right) \quad \textbf{(Ec. 36)}$$

$$y = (1.1718 \cdot \text{Año} - 2348.04) \cdot \left(0.20\left(e^{-(\text{Año-2025})*0.016}\right) + 0.80\right) \quad \textbf{(Ec. 37)}$$

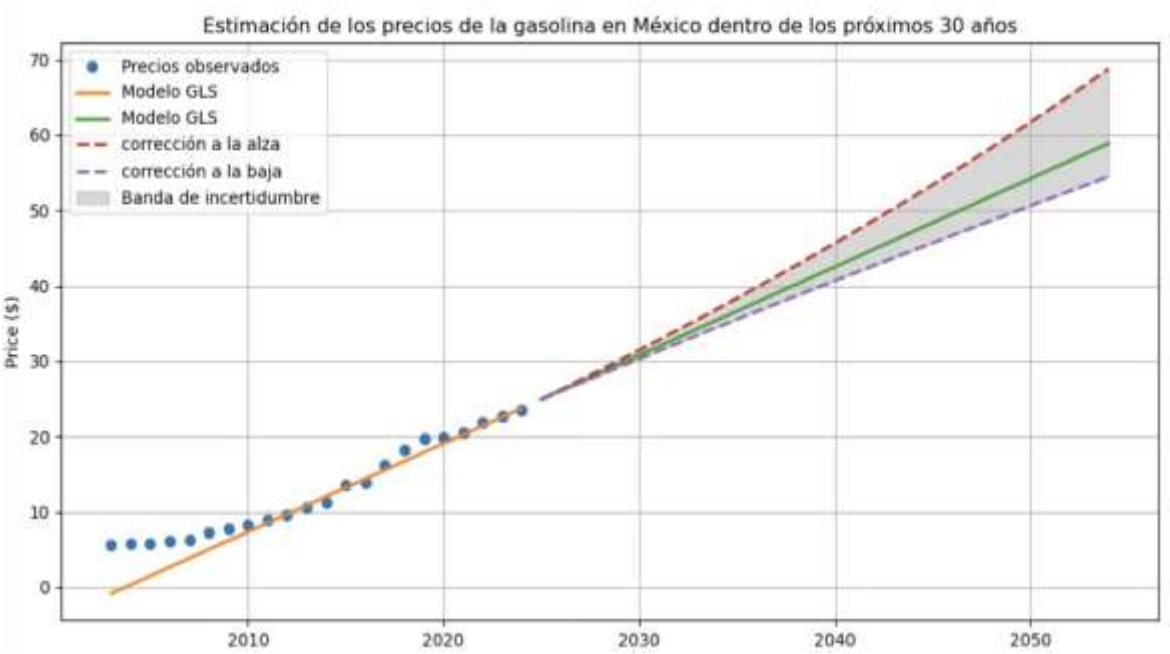


Figura 11. Modelo corregido obtenido a partir del método de mínimos cuadrados generalizado.
Fuente: Elaboración propia.

Tras el modelo planteado se observa que tras realizar la corrección que toma en cuenta la autocorrelación de los datos el modelo resultante tiene una mayor tasa de crecimiento lo cual refleja que los precios de la gasolina no siguen un modelo que depende de forma global de los precios anteriores sino más bien está fuertemente correlacionado sólo con el precio anterior. El modelo elegido basado en el método de mínimos cuadrados generalizado es más adecuado ya que permite realizar una estimación más estable a largo plazo. Otra alternativa era usar un modelo ARIMA sin embargo un modelo de este tipo no habría sido útil para una predicción a 25 años ya que tienden a ser más sensibles si no se tienen suficientes datos históricos. Por otra parte, al elegir un modelo lineal como el proporcionado por el método de mínimos cuadrados generalizado fue posible agregar los modelos de precio al alza y a la baja con mayor facilidad como se muestra en la figura 11.

En general, México ha tenido una alta dependencia de los combustibles fósiles para el transporte, con la gasolina siendo la principal fuente de energía para vehículos, por lo que, eso se refleja en la estimación de los precios para los años 2025 hasta 2050 como se muestran en la Figura 3. En los próximos años a partir del año 2050 con base en la estimación por mínimos cuadrados y el ajuste del modelo el precio de la gasolina alcanza un rango entre $45.00 y $55.00 por litro, por lo que desde una perspectiva actual los precios son muy elevados.

A pesar de estimar precios hasta el año 2050, en un rango entre $45.00 y $55.00 por litro, es importante mencionar que existen otros factores tales como la inflación y las políticas de subsidios gubernamentales que también influyen en la tendencia del precio de la gasolina. Por ejemplo, aumentos en los precios del petróleo podrían incentivar a las personas a buscar alternativas más económicas y eficientes en términos de combustible, como el transporte público o vehículos más eficientes. En resumen, la tendencia del uso de gasolina en México está influenciada por una variedad de factores y

puede cambiar con el tiempo en respuesta a cambios en la economía, políticas gubernamentales y avances tecnológicos en el sector de transporte.

Por lo que se espera que en México y en gran parte del mundo, para los años 2050 el uso de vehículos eléctricos sea predominante, y los vehículos basados en combustible no sean una alternativa u opción. Incluso, se puede pensar en que las organizaciones mundiales que monitorean el medio ambiente propongan leyes donde los vehículos basados en gasolina no circulen debido a la preocupación y el impacto en el cambio climático del planeta (Mercado, 2023). Sin embargo, en los últimos años, ha habido un creciente interés en reducir la dependencia de los combustibles fósiles y en promover fuentes de energía más limpias y sostenibles. Esto ha llevado a zonas como la del Valle de México aplicar planes de contingencia ambiental debido a los altos índices de contaminantes en el aire y su mala calidad (Martínez et al., 2024), (Mercado, 2023), (Sandoval et al., 2019) dejando a miles de automovilistas sin circular. Lo anterior, promueve el uso de vehículos eléctricos (VE) para disminuir la frecuencia y gravedad de las contingencias ambientales.

Entre los mayores impactos están la reducción de emisiones, es decir, los autos eléctricos no emiten contaminantes locales como óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxidos de azufre (SO_2) y partículas finas (PM10 y PM2.5), que son los principales responsables de la mala calidad del aire en el Valle de México (Mercado, 2023), (Sandoval et al., 2019). También promueve la eficiencia energética, en otras palabras, los vehículos eléctricos son más eficientes en términos de energía comparados con los vehículos de combustión interna. Esto significa que utilizan la energía de manera más efectiva, produciendo menos desperdicio y contaminación. Además, el uso de autos eléctricos puede ir de la mano con la promoción de fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, para la generación de electricidad. Esto contribuiría a una disminución general de las emisiones de gases de efecto invernadero. Finalmente, conlleva la conciencia ambiental entre los ciudadanos acerca de los beneficios de los autos eléctricos puede impulsar un cambio cultural hacia la preferencia por tecnologías más limpias.

La adopción de VE está siendo impulsada por políticas gubernamentales y avances tecnológicos. Muchos países han implementado incentivos fiscales, subsidios y regulaciones estrictas sobre emisiones para promover la adopción de VE. La infraestructura de carga también está en expansión, con un aumento en el número de estaciones de carga públicas y privadas. Sin embargo, la transición enfrenta varios desafíos. La producción de baterías requiere materiales como el litio, cobalto y níquel, cuya extracción puede tener impactos ambientales y sociales significativos.

Además, la infraestructura de carga debe expandirse considerablemente para ser adecuada para una adopción masiva de VE. La red eléctrica también deberá adaptarse para manejar la demanda adicional, idealmente integrando fuentes de energía renovable para maximizar los beneficios ambientales. La transición a VE tiene el potencial de transformar la industria automotriz y la economía global. Las empresas automotrices están invirtiendo miles de millones en el desarrollo de nuevos modelos de VE y en la mejora de la tecnología de baterías. La competencia en este mercado está fomentando la innovación, llevando a vehículos con mayores autonomías y tiempos de carga más rápidos. La electrificación del transporte puede catalizar un cambio más amplio hacia un sistema energético más sostenible. La

integración de VE con la red eléctrica puede facilitar el uso de fuentes de energía renovable, mediante la carga en momentos de baja demanda y la devolución de energía a la red en momentos de alta demanda, un concepto conocido como "vehicle-to-grid" (V2G).

En conclusión, aunque la gasolina sigue siendo la principal fuente de combustible para vehículos, la transición hacia los VE es una tendencia creciente impulsada por la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. Esta transición está respaldada por avances tecnológicos y políticas públicas, pero enfrenta desafíos significativos que deberán ser abordados para lograr una adopción masiva y sostenible. El futuro del transporte dependerá en gran medida de nuestra capacidad para superar estos obstáculos y construir un sistema energético más limpio y eficiente.

6. Conclusiones

El uso de la gasolina como principal fuente de combustible para vehículos ha predominado durante más de un siglo, impulsando la economía global y facilitando el transporte de personas y mercancías. Sin embargo, este modelo está bajo creciente escrutinio debido a sus impactos ambientales, económicos y de salud pública.

La gasolina, derivada del petróleo, es la fuente de energía predominante para vehículos de combustión interna. A pesar de los avances en la eficiencia de los motores y en la reducción de emisiones, los vehículos a gasolina siguen siendo una fuente significativa de contaminación del aire. La combustión de gasolina libera dióxido de carbono (CO_2), un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático. Además, emite otros contaminantes como óxidos de nitrógeno y partículas finas, que tienen efectos adversos en la salud humana, incluyendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Camarena et al., 2022).

Económicamente, la dependencia de la gasolina implica vulnerabilidad a las fluctuaciones del precio del petróleo, lo cual puede tener repercusiones en la estabilidad económica. Los países que no producen petróleo dependen de las importaciones, lo que puede afectar sus balanzas comerciales y exponerlos a tensiones geopolíticas.

La transición hacia vehículos eléctricos (VE) es una respuesta directa a estos desafíos. Los VE, que funcionan con baterías recargables, presentan varias ventajas en comparación con los vehículos de combustión interna. Primero, tienen cero emisiones de escape, lo que reduce significativamente la contaminación del aire local y la emisión de gases de efecto invernadero cuando se utiliza energía renovable para cargar las baterías. Además, son más eficientes energéticamente: convierten una mayor proporción de la energía almacenada en movimiento, en comparación con los motores de combustión interna.

Hoy en día la gasolina en México empieza a considerarse como un recurso secundario debido a la producción y la venta de vehículos híbridos y eléctricos. En el contexto ambiental tendrá un gran impacto en la sociedad y el medio ambiente debido a que se buscan nuevas fuentes de energía que ayuden a minimizar nuestra huella en el planeta. A partir de lo anterior no se puede soslayar el efecto que tendrá la introducción de los vehículos eléctricos, y este se trata de un suceso que no se ha visto en la historia desde la invención del motor de combustión interna, y es muy probable que tendrá un impacto en el mercado y en el precio de los combustibles fósiles.

Actualmente se vive en una época crítica, tanto para la humanidad como para el conjunto del planeta. La necesidad de cuidar el medioambiente, y buscar fórmulas más sostenibles para interaccionar con el entorno y contra el calentamiento global, un esfuerzo en el que la tecnología y la denominada economía circular jugarán un papel clave. Las prospectivas presentadas en este trabajo son el resultado del análisis de las políticas públicas aplicadas en otros países donde se han tomado acciones serias para desincentivar el uso de vehículos de combustión interna. Asimismo, se consideran las políticas sociales y económicas que se han aplicado en México para el apoyo de sectores vulnerables de la sociedad.

Se reconoce la dificultad de hacer una prospectiva del aumento o descenso de los precios de la gasolina basados solamente de la adopción de vehículos eléctricos por lo cual se propone un rango en el cual se ubicarían los precios de la gasolina a lo largo del tiempo hacia el año 2050. El modelo propuesto podrá servir como referencia para conocer los distintos escenarios que podrían darse a partir de la adopción de vehículos eléctricos e hibrido.

Por otro lado¸ es importante señalar que, aunque la transición hacia vehículos eléctricos representa una oportunidad para reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones contaminantes, el contexto energético actual en México presenta desafíos adicionales. El precio de la energía eléctrica ha mostrado una tendencia al alza en los últimos años, influenciado por factores como el aumento en los costos de generación, la inversión en infraestructura y la transición energética hacia fuentes renovables, que, aunque más limpias, pueden implicar costos iniciales elevados.

Además, la infraestructura para la carga de vehículos eléctricos ya está siendo implementada en el país, y en muchos casos, el servicio de carga ya es objeto de tarifas específicas para usuarios particulares o comerciales. Esto implica que el costo de operación de un vehículo eléctrico no es necesariamente despreciable y puede representar una barrera para una adopción masiva, sobre todo en sectores con menor poder adquisitivo.

Por lo tanto, el análisis prospectivo del precio de la gasolina debe considerar también estos factores del mercado eléctrico, dado que el costo relativo entre la gasolina y la electricidad influirá en las decisiones de los consumidores respecto al tipo de vehículo que eligen. La convergencia entre el aumento en el precio de la energía eléctrica y la posible estabilización o fluctuación en los precios de la gasolina generará un escenario complejo que debe ser monitoreado para ajustar políticas públicas que incentiven la transición energética de manera equitativa y sostenible. Este panorama subraya la necesidad de un enfoque integral que no solo analice la evolución del precio de la gasolina, sino que también contemple la dinámica del mercado eléctrico y sus repercusiones en el consumo energético del transporte en México hacia el 2050.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la UAEH por el apoyo del proyecto Identificación, Predicción y Control mediante el uso de datos: Aplicación en Sistemas Sociales, Económicos, Biológicos y de Ingeniería con el folio UAEH-DIDI-DI-ICBI-CyE-2024-118. Asimismo, los autores agradecen a la SECIHTI por el apoyo brindado a J. M. Cruz Olguín a través de una beca de Maestría.

Conflictos de interés

No existe conflicto de intereses entre los autores.

Referencias

Anderson, D. R., Sweeney, D. J. & Williams, T. A. (2008). Estadística para Administración y Economía, CENGAGE Learning, 10ma Edición, México.

Ayala-Aldana, N., Monleon-Getino, A., & Canela-Soler, J. (2022). Regresión lineal para sars-cov-2 en aguas residuales y la dinámica infecciosa de covid-19 en el baix llobregat, España. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(6), 250-261. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3486

Barriga Rosales, L. A. (2016). *La demanda de gasolina en México, 2000–2016: análisis de las elasticidades precio e ingreso*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos/3429724

Borja Bravo, M., García Salazar, J. A., Almeraya Quintero, X., & Cuevas Reyes, V. (2019). El gasolinazo y el sector agrícola: un estudio de caso de los efectos sobre la competitividad de guayaba (Psidium guajava L.) en Aguascalientes. Acta Universitaria, 29, 1–13. https://doi.org/10.15174/au.2019.1958

Brenes González, H. A. (2018). Aplicación del análisis de regresión lineal simple para la estimación de los precios de las acciones de Facebook, Inc. REICE: Revista Electrónica De Investigación En Ciencias Económicas, 5(10), 133–155. https://doi.org/10.5377/reice.v5i10.5535

Burgos-Huezo, H.E., Garfias-Soliz, J.M., Martel-0, R., Salas-García, J., (2024). Análisis de regresión: Enfoque del desempeño de la curva de ruptura en un sistema dinámico. Ingeniería Investigación y Tecnología, 25 (01), 1-10. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2024.25.1.003

Camarena Gómez, B. O., Hernández Arias, P., Robles Parra, J. M., Salazar Solano, V., & León Balderrama, J. I. (2022). Emisiones de CO2 del sistema automotriz privado en los estados de la frontera norte de México: un ejercicio de valoración monetaria. Acta Universitaria, 32, 1–21. https://doi.org/10.15174/au.2022.3630

Castilla, E., & Chocano, P. (2024). El Modelo de Regresión Lineal y el Problema de Mínimos Cuadrados. Forum Docentis, 1(1), e19. https://doi.org/10.33732/FD.v2023.n1.19

COFECE. (2019). Transición hacia mercados competidos de energía: gasolinas y diésel. Comisión Federal de Competencia Económica, 1er edición, México.

Comisión Reguladora de Energía. (2024). Precios de gasolinas y diésel, México. [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/cre/articulos/precios-vigentes-de-gasolinas-y-diesel?idiom=es. Fecha de consulta: 30 de abril de 2024.

Crôtte, R., Noland, R. B., & Graham, D. J. (2010). Gasoline demand and the heterogeneity in household income in Mexico. *Investigación Económica*, 69(271), 63–86. https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2010.271.86385

Del Cisne Loján, M., Antonio Romero, J., Sancho Aguilera, D., & Yajaira Romero, A. (2024). Consecuencias de la Dependencia de la Inteligencia Artificial en Habilidades Críticas y Aprendizaje Autónomo en los Estudiantes. Ciencia Latina Revista

Científica Multidisciplinar, 8(2), 2368-2382. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10678

Díaz López, M. H., King-Domínguez, A. & Améstica-Rivas, L. (2023). Estimación de Precios de Bitcoin mediante Regresión Lineal Múltiple y Redes Neuronales. PODIUM, (44), 119–132. https://doi.org/10.31095/podium.2023.44.8

Di Pietro, Simone. (2019). Acuerdo de París: ¿Nuevos compromisos con el medio ambiente o nuevas oportunidades de negocio? Estudios internacionales (Santiago), 51(192), 57-70. https://dx.doi.org/10.5354/0719-3769.2019.52814

FAO. 2019. El apoyo de la FAO para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América del Sur – Panorama. Santiago de Chile. 72 pp. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/56af381e-d4be-49a4-bff8-b9a7e4978a32/content

Faustino Cruz, E. I. (2024). La relación entre la inflación y el precio de la gasolina en México. Investigación Económica, 83(328), 79-101. https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2024.328.86385

Ferrer Carbonell, J., & Escalante Semerena, R. (2014). Demanda de gasolina en la zona metropolitana del Valle de México: análisis empírico de la reducción del subsidio. Revista De Economía Del Rosario, 17(01), 89–117. https://doi.org/10.12804/rev.econ.rosario.17.01.2014.04

Galindo, L. M., Samaniego, J. L., Alatorre, J. E., & Ferrer Carbonell, J. A. (2015). *Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina*. CEPAL. https://doi.org/10.18356/38b92c7d-en

García-Martínez, R., Poblano-Ojinaga, E. R., & Noriega-Morales, S. A. (2024). Modelo de regresión lineal PLS-SEM para evaluar el efecto de las capacidades dinámicas en el proceso de mejoramiento de la competitividad en las empresas. CienciaUAT, 19(1). Recuperado a partir de https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/1843

Guerrero Sánchez, P., Hernández Jaimes, B. G., Bonilla Sánchez, F. de J., Sánchez Guevara, I., & Guerrero Grajeda, J. (2024). Las estrategias de sobrevivencia de las microempresas en México durante la pandemia. Revista Universidad Y Empresa, 26(46), 1–30. https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.13581

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts. https://otexts.com/fpp3/

Ibarra Salazar, J., & Sotres Cervantes, L. K. (2022). Fluctuaciones en el precio y demanda de gasolina en la frontera norte de México. Frontera Norte, 34. https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2287

J. Carrillo, J. S. de los Santos Gómez y J. Briones, "Hacia una electromovilidad pública en México", Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/115), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

Koren, A. V. & Danilovskikh, T. E. (2024). Desarrollo de enfoques modernos para la evaluación de activos financieros cotizados en bolsa. REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas, 9(18), 58–70. https://doi.org/10.5377/reice.v9i18.18051

Linares Zarco, Jaime (2023): La movilidad eléctrica en México en la tercera década del

siglo XXI. Retos y oportunidades. In: Isaac Egurrola Jorge Eduardo [Coord.] Nuevas territorialidades-economía sectorial y reconfiguración territorial. UNAM-AMECIDER, México, pp. 409-430. ISBN UNAM 978-607-30-8315-7, AMECIDER 978-607-8632-41-1

Lind, D. A., Marchal, W. G. & Wathen, S. A. (2019). Estadística aplicada a Negocios y la Economía, Mc Graw Hill, 17ma Edición, México.

Lozada, C., Panchi, D., Sánchez, W., & Jacho, A. (2024). Regresión Lineal para la Identificación del Punto de Máxima Potencia en Microrredes Híbridas Implementado en HYPERSIM. Revista Técnica "energía", 20(2), PP. 34–46. https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.618

Macumber-Rosin, J., & Hoffer, A. (2024). 2024 Gas Taxes in Europe. Tax Foundation. Retrieved April 21, 2025, from https://taxfoundation.org/data/all/eu/gas-taxes-in-europe-2024/

Martínez-Garduño, K., Martines-Arano, H., & Ojeda-Misses, M. A. (2024). La tecnología como un nuevo escenario en el desarrollo sustentable. Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI, 12(Especial), 9-20. https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial.12136

Mendoza-Rivera, R., & Venegas-Martínez, F. (2021). Impacto de la pandemia COVID-19 en los precios de la gasolina y el gas natural en las principales economías de Latinoamérica. Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF, 16(3), e654. doi:https://doi.org/10.21919/remef.v16i3.654

Mercado Burciaga, U. (2023). Estrategias frente al cambio climático desde un enfoque de sustentabilidad en el sector educativo de Jalcocotán. Acta Universitaria, 33, 1–15. https://doi.org/10.15174/au.2023.3699

Montero Monsalvo, E., Mora Flores, J. S., Martínez Damián, M. Á., Hernández Juárez, M., & Valdivia Alcalá, R. (2018). Análisis del mercado de petróleo y la gasolina en México, 1996–2015. *Agrociencia*, 52(8), 1–17. https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2018.328.86385

OCW-EHU. (n.d.). *Mínimos Cuadrados Generalizados.* Retrieved from https://ocw.ehu.eus/file.php/23/MCG.pdfOCW

Ojeda Misses, M. A, Baruch, I. S. & Soria López, A. (2019). A real-time identification for hand-based movements using Recurrent Complex-Valued Neural Networks, 2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC), Medellin, Colombia, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCAC.2019.8920864.

Prado Pérez, C. D. (2019). Estimación y predicción del precio de la gasolina en México a partir del Modelo de Ajuste de precios de Evans. Acta Latinoamericana de Matemática Educativa, Vol. 32, Año 1, 385-391.

Quevedo-García, E., Murcia-Rodríguez, M. A., & Ochoa-Reyes, M. P. (2023). Modelos de regresión para predecir la cosecha con variables asociadas a la calidad del fruto, el tiempo de defoliación y la altitud del durazno Jarillo. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 26(2). https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2235

Ranjbar, M., & Rahimzadeh, M. (2024). Advancing gasoline consumption forecasting: A novel hybrid model integrating transformers, LSTM, and CNN. *Energy Science & Engineering*, 12(3), 524–540. https://doi.org/10.1002/ese3.1710

Reyes, M. (2012). *Impacto de las políticas públicas en el consumo energético del transporte en México*. Investigación Económica, 71(280), 93–114. https://doi.org/10.22201/fe.01851667p.2012.280.86385

Sánchez, A., Islas, S., & Sheinbaum, C. (2015). Demanda de gasolina y la heterogeneidad en los ingresos de los hogares en México. Investigación Económica, 74(291), 117–143. https://doi.org/10.1016/j.inveco.2015.07.004

Sandoval Garcia, E. R., Franco González, R. L. P. E., & Fernández Morales, J. M. (2019). Vehículos eléctricos: ¿Una solución para reducir los gases de efecto invernadero proveniente del sector transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México? Acta Universitaria, 29, 1–13. https://doi.org/10.15174/au.2019.1964

Salazar-Moreno, R., López-Cruz, I. L., & Fitz-Rodríguez, E. (2023). Predicción de la evapotranspiración de referencia utilizando redes neuronales artificiales. CienciaUAT, 17(2), 181-196. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i2.1708

Saucedo, E. (2019). Efectos de la incertidumbre de los precios del petróleo en el crecimiento económico de México. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época*, 14(2), 1–20. https://doi.org/10.21919/remef.v14i2.301

Sorensen, B. (2017). *Introduction to Generalized Least Squares.* University of Houston. Retrieved from https://www.uh.edu/~bsorense/GLS_May_2017.pdf

Torres Preciado, V. H. & Rebollar Ruelas, L. (2021). La geografía económica del precio de los combustibles en México: Un análisis exploratorio espacial. Los desafíos de la economía mexicana: Energía, política energética y crecimiento económico, Chapter: 9, Universidad de Colima, México, 257-288.

SEMARNAT. (septiembre 2018). Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395715/6_SEMARNAT_EstElectroMovilidad.pdf

Shankleman, J. (2018, April 13). La revolución del auto eléctrico está acelerando. Bloomberg. https://www.bloomberg.com/latam/blog/la-revolucion-del-auto-electrico-esta-acelerando/

Torres Ramírez, Blanca. (2019). La participación de México en la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Foro internacional, 59(3-4), 1179-1219. Epub 15 de agosto de 2019.https://doi.org/10.24201/fi.v59i3-4.2656

Varela Costarrica, A. & Carbajal De Nova, C. (2022). ¿Realmente fue positivo el saldo de la privatización de la Reforma Energética en México? Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF, 17(3), e746. doi:https://doi.org/10.21919/remef.v17i3.746