

Evaluación económica de vehículos eléctricos para incentivar el cambio tecnológico

Juan A. Jimenez-García ^{1,*}, Rigoberto Torres Tovar ¹, Noé Gaspar Sanchez ¹, Víctor M. Durán López ², Hugo A. Hernández Hernández ² y Giselle López Mendoza ³

¹ Licenciatura en Ingeniería en Transporte, Centro Universitario de Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México, Edo Mex., Estado de México, México.

² Licenciatura en Comercio Internacional, Centro Universitario de Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México, Edo Mex., Estado de México, México.

³ Estudiante de la licenciatura en Ingeniería en Transporte Centro Universitario de Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México, Edo Mex., Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: juan.jimenez.uaem@gmail.com; Tel.: +525540107202

Artículo de divulgación científica

Recibido: 6 de junio de 2025 Aceptado: 19 de julio de 2025 Publicado: 17 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.477>

Resumen: En este trabajo se presenta una evaluación económica de la adopción de vehículos eléctricos (VE), dirigida a usuarios o propietarios de flotas o vehículos particulares que desean tomar decisiones informadas sobre el cambio tecnológico. Se compara el costo anual equivalente de dos alternativas: vehículos diésel de combustión interna (VCI) y vehículos 100% eléctricos, considerando que ambas unidades realizan el mismo recorrido anual y no generan ingresos diferenciados. El análisis incluye variables como la inversión inicial, incentivos o apoyos gubernamentales, costos de operación y mantenimiento, y costos de combustible. Se asume una vida útil de ocho años y se considera el valor de reventa de cada una de las alternativas. Los resultados muestran que el vehículo eléctrico resulta económicamente más atractivo, con un valor anual equivalente 21.9% menor que el vehículo Diesel. Se cuantifican las emisiones de bióxido de carbono para ambas opciones considerando los kilómetros recorridos por ambas unidades durante su vida útil. Para el caso del VE dependiendo del origen de la energía eléctrica de recarga (convencional o renovable) se encontró que las emisiones de CO₂ son 97.02% y 99.18% menores a las emitidas por la opción del VCI a Diesel. Finalmente se presenta una estimación de la reducción de emisiones de CO₂ totales directas que se reducirían al elegir la opción eléctrica.

Palabras clave: valor anual equivalente; electromovilidad; cuantificación de emisiones de CO₂

Introducción

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos globales del siglo XXI, con impactos cada vez más visibles en los ecosistemas, la salud pública y la economía. En respuesta, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por las Naciones Unidas, establece una hoja de ruta global que incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), dentro de los cuales el ODS 13: Acción por el clima y el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles llaman explícitamente a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover sistemas de transporte más limpios, accesibles y eficientes (Naciones Unidas, 2023).

En este contexto, la movilidad eléctrica (Salgado *et al.*, 2024), emerge como una solución clave para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar las emisiones del sector transporte (ICCT, 2018), uno de los principales contribuyentes al calentamiento global. Sin embargo, su adopción masiva aún enfrenta barreras significativas, entre ellas la percepción de altos costos iniciales, la limitada infraestructura de carga y la falta de incentivos adecuados (Afridi, 2022).

Este proyecto tiene como objetivo plantear la evaluación económica integral de los vehículos eléctricos (EEA, 2020), comparando sus costos y beneficios frente a los vehículos de combustión interna diésel, tanto desde una perspectiva individual (usuarios particulares o empresariales) e indirectamente en forma colectiva (impacto ambiental y ahorro en salud pública). El análisis buscará identificar las condiciones económicas necesarias y los mecanismos de incentivo más efectivos para acelerar el cambio tecnológico hacia una movilidad sostenible, alineada con los principios de la Agenda 2030. Se considera para el estudio que las unidades analizadas prestan el mismo servicio y que no generan ingresos por los viajes, empleando el método de valor anual equivalente (VAE) a ocho años de vida útil.

Al fundamentar esta evaluación en datos reales y criterios de sostenibilidad, se pretende ofrecer insumos útiles para la formulación de políticas públicas, programas de incentivo y estrategias privadas que promuevan una transición energética justa e inclusiva en el sector transporte.

Desarrollo

En la presente sección se describen los principales costos asociados a la adquisición de vehículos de diferentes tecnologías, se desarrolla la metodología para calcular el VAE (Coss Bu, 2005; Sapag Chain 2014; Baca Urbina, 2013) se presenta la sección de resultados.

Costos asociados a la adquisición de un vehículo

Para evaluar económicamente la adquisición de un vehículo eléctrico (VE) frente a uno de combustión interna (VCI) implica considerar varios factores. Aquí te detallo los principales elementos para tener en cuenta:

- Inversión Inicial. Valor factura de la unidad.
- Gastos administrativos y/o incentivos fiscales. Es importante considerar los gastos administrativos que la adquisición de una unidad conlleva entre ellos: costo de la emisión de placas, tarjetón de circulación, engomado y tenencia, así como verificación vehicular y pago de primas de seguros, en nuestro caso práctico se presentan como gastos anuales fijos durante la vida útil de las unidades.
- Costos de operación y mantenimiento. Son todos aquellos costos asociados al uso, operación y mantenimientos de la unidad. En los VCI: servicios de mantenimiento programados (cambio de fluidos, aceite, piezas de desgaste). Para los VE, sus costos de mantenimiento son relativamente más bajos, ya que poseen una cantidad menor de piezas de desgaste, no hay cambios de aceite y menor desgaste de frenos gracias a la frenada regenerativa.
- Costos de la Energía o combustibles (IEA, 2023). En el caso del VCI el costo de combustible considerado para el estudio fue de \$24.175/ lt de Diesel y para la recarga de los VE se consideró una tarifa eléctrica estándar residencia de \$1.071/KWh.
- Vida útil y depreciación. Se considera que el VE: Depreciación rápida inicialmente, pero con baterías modernas, se ha reducido el temor a la obsolescencia. VCI: Depreciación estándar, aunque pueden verse afectados por regulaciones ambientales futuras.

Método de valor anual equivalente

La selección de alternativas mutuamente excluyentes en proyectos de inversión implica elegir la opción más favorable entre varias propuestas de inversión que compiten entre sí, es decir, solo se puede seleccionar una de las alternativas disponibles. La metodología para llevar a cabo esta selección generalmente sigue los siguientes pasos:

Identificación de Alternativas: En esta etapa, se recopilan y describen todas las alternativas posibles de inversión. Cada alternativa debe ser claramente definida en términos de su alcance, duración y flujos de efectivo asociados.

Estimación de Flujos de Efectivo: Para cada alternativa, se proyectan los flujos de efectivo netos que se espera generar durante la vida útil del proyecto. Esto incluye costos iniciales de inversión, ingresos operativos, costos de mantenimiento y posibles flujos de efectivo de desinversión al final del proyecto (Baca Urbina, 2013). Según Coss Bu, para el cálculo del valor anual equivalente de proyectos de inversión de dos alternativas mutuamente exclusivas, se emplea la siguiente expresión (Coss Bu, 2005):

$$A = -p(A | p, i\%, n) + \left[\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1-i)^t} \right] (A | p, i\%, n) + F(A | F, i\%, n) \quad (1)$$

Donde, A = Anualidad equivalente, p = Inversión inicial, S_t es el flujo de efectivo neto del año t , F es el valor de rescate o de reventa de la unidad al final de la vida útil considerada para el análisis, F es el valor de rescate, n es el número de años de vida del proyecto, i es la tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA). Si se supone que los flujos de efectivo netos al año son iguales, entonces la ecuación anterior se simplifica (Coss Bu, 2005):

$$A = S - [(p - F)(A | p, i\%, n) + F(i\%)] \quad (2)$$

La metodología descrita permite una evaluación integral y sistemática de las alternativas mutuamente excluyentes, facilitando la toma de decisiones informadas y alineadas con los objetivos estratégicos de la organización. El valor que resulte con la anualidad equivalente menor representa la opción desde el punto de vista económico, sin embargo, existen otros beneficios indirectos como la reducción de emisiones contaminantes directas en las zonas urbanas, mejora de la imagen de la marca o empresa al apreciarse como una industria limpia, acorde al objetivo de desarrollo ciudades y comunidades más sostenibles al reducir las emisiones de efecto invernadero.

Para el presente caso de estudio se tomó en consideración una unidad diésel tradicional y otra unidad eléctrica, para una empresa de reparto de pan, en la que, ambas unidades son capaces de transportar el mismo volumen de carga, realizar la misma ruta y visitar los mismos puntos de venta en el mismo recorrido diario, por lo que se considera que no existen ingresos diferenciados entre ambas alternativas y que la selección de la opción se tomará en función de los gastos o erogaciones que cada proyecto realizó a lo largo de su vida útil. Se consideraron unidades diésel para la evaluación económica debido a que son las unidades con las que cuenta la empresa y se deseaba compararlas con la opción de unidades eléctrica, no obstante, la presente metodología puede aplicarse para comparar otras tecnologías como vehículos a gasolina o híbridos, con sus respectivas particularidades de cálculo.

En la Tabla 1, se describen las características de las dos alternativas de inversión mutuamente excluyentes, que se evaluaron para determinar su viabilidad económica: la opción de una unidad diésel versus la propuesta de implementar unidades 100% eléctrica.

Tabla 1. Características de las opciones mutuamente excluyentes.

Tipo	Vehículo eléctrico	Diesel	Unidad De Medida
Inversión Inicial	\$603,635.0	\$750,000.0	\$
Recorrido Diario	35	35	Km
Capacidad De Carga	1	1.5	ton
Velocidad Máxima	80	220	Km/hr
Tipo de batería	41	-	KWh (ion litio con freno regenerativo)
Tiempo estimado De Carga (15%-100%)	7	-	hr
Tiempo estimado De Carga rápida (30-80%)	54	-	min
Autonomía	400	-	Km
Rendimiento De Combustible	10.3	7.5 KM/LT	KWh/100 Km, Km/hr
Equivalencia Entre KWh Y Diesel	9.9	1	KWh/lt
Recorrido Diario	35	35	Km
Recorrido Mensual	1050	1050	Km/mes
Costo Unitario De Combustible	1.071	24.175	\$/KWh tarifa alta, \$/lt
Costo De Combustible Mensual	\$115.27	\$3,384.50	\$
Prima De Seguro Anual	\$8,610.05	\$10,697.75	\$/ Anual
Refrendo Anual	\$2,173.00	\$3,806.00	\$
*Verificación Vehicular Anual	\$0.00	\$1,256.00	\$
Costo Del Servicio De Mantenimiento	\$5,973.00	\$9,146.00	\$
Gastos Totales Anuales	\$16,871.31	\$28,290.25	\$
Vida Útil	8	8	años
Valor De Reventa	\$94,167.06	\$112,500.0	\$

Resultados

En la Tabla 2, se muestran las principales variables de la ecuación 2.0 para calcular el VAE, el resultado muestra la que la alternativa con un VAE menor es la opción del vehículo eléctrico con un VAE de \$193,456.49 en comparación con la opción del VCI con un VAE de \$247,919.30, esto debido a dos grandes factores: el primero de ellos, la inversión inicial del VE es menor a la inversión inicial del vehículo de VCI, seguido a que el vehículo eléctrico tiene menores costos de operación anual, lo que convierte al VE en la mejor opción considerando la información presentada en la Tabla 2.

Tabla 2 Valores económicos y valor anual equivalente calculado.

Concepto	Vehículo eléctrico	Vehículo Diesel
Inversión inicial (\$)	\$603,635.00 (130 km de autonomía)	\$750,000.00 (2.5 lt turbo Diesel)
Gastos anuales calculados (\$)	\$16,871.31	\$28,290.25
Valor de rescate o reventa estimado de las unidades	\$94,167.06	\$112,500.000
Vida útil (n)	8.0	8.0
Factor i (considerando una *TREMA=25%)	0.25	0.25
Factor (A/P,%,n)	0.30040	0.30040
Valor Anual Equivalente Calculado	\$193,456.49	\$247,919.30

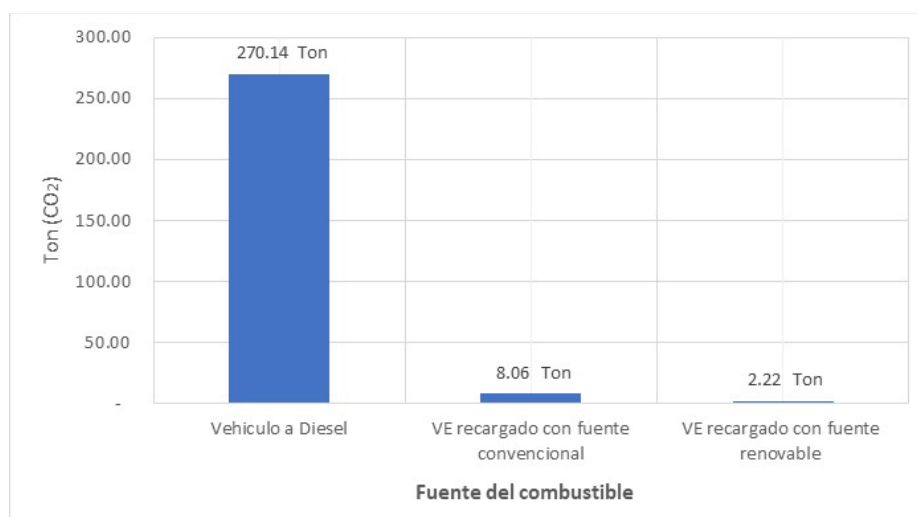
*TREMA: Tasa de recuperación mínima atractiva; tasa que es siempre mayor a suma de la inflación y la ganancia esperada por el inversionista del proyecto.

Emisiones contaminantes

Si bien, desde el punto de vista económico se justifica la adquisición de un vehículo eléctrico en comparación con un vehículo de combustión a Diesel, es importante resaltar la reducción estimada de emisiones contaminantes al realizar la adopción de nuevas tecnologías. En la Figura 1, se muestran las emisiones contaminantes de ambas opciones considerando un recorrido diario de 35 km, 1050 mensuales, 12600 Km anuales y 100,800 Km recorridos por la vida útil de las unidades.

Para el cálculo de las emisiones directas de CO₂ del VCI se consideró que cada litro de Diesel quemado emite 2.68 Kg de CO₂ (Gouveia *et al.*, 2025) a la atmósfera y para el cálculo de las emisiones totales de CO₂ del VE, se consideraron las emisiones indirectas por el tipo de fuente de suministro de energía eléctrica (renovable o convencional) considerando la emisión de 22 gr de CO₂ (Neugebauer *et al.*, 2022), cuando la fuente de alimentación de recarga del VE proviene de energías limpias y de 80 gr de CO₂ (Neugebauer *et al.*, 2022), cuante proviene de fuentes de energía convencional. Finalmente, en la figura 1, se presentan las emisiones totales por la vida útil del VCI y del VE considerando para este último dos tipos de fuentes de energía (de origen renovable y de origen fósil o convencional).

Se observa en la Figura 1, que, las emisiones contaminantes del vehículo diésel emite durante su vida útil fueron calculadas de 270.14 toneladas de CO₂. En comparación, el vehículo eléctrico que suponiendo que recargue sus baterías a partir de una fuente de energía fósil emite 8.06 toneladas de CO₂. Además, si la infraestructura de carga eléctrica permite el uso de energía de origen renovable, la emisión indirecta de CO₂ del vehículo eléctrico se reduce a 2.22 toneladas de CO₂ a lo largo de los ocho años de vida útil del proyecto.

Figura 1. Emisiones de CO₂ de las alternativas comparadas.

Conclusiones

El análisis económico presentado en este estudio demuestra que, se pueden evaluar las opciones que se encuentran en el mercado conociendo las variables económicas. En el caso presentado, los vehículos eléctricos (VE) ofrecen una alternativa más económica y ambientalmente sostenible frente a los vehículos diésel de combustión interna (VCI). Con un costo anual equivalente 21.9% menor, los VE no solo representan ahorros significativos para usuarios y propietarios de flotillas, sino que también contribuyen de manera decisiva a la reducción de emisiones de bióxido de carbono, con disminuciones de hasta el 99.18% si la energía utilizada para la recarga de unidades eléctricas proviene de fuentes renovables. Estos hallazgos refuerzan la importancia de impulsar políticas públicas y programas de incentivos que faciliten la adopción de la movilidad eléctrica. Al integrar criterios económicos, ambientales y de sostenibilidad, el estudio ofrece una base sólida para la toma de decisiones informadas y para acelerar la transición energética en el sector transporte, en línea con los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Es importante profundizar en técnicas que permitan evaluar las variaciones económicas a lo largo del proyecto y mejorar el nivel de certidumbre en la toma de decisiones para adquirir un vehículo.

Bibliografía

- Afridi, K. (2022). The future of electric vehicle charging infrastructure. *Nature Electronics*, 5(2), 62–64. <https://doi.org/10.1038/s41928-022-00726-w>
- Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). (2020). *Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>
- Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos* (7ª ed.). México: McGraw-Hill.
- Neugebauer, M., Żebrowski, A., & Esmer, O. (2022). Cumulative emissions of CO2 for electric and combustion cars: a case study on specific models. *Energies*, 15(7), 2703. <https://doi.org/10.3390/en15072703>
- Coss Bu, R. (2005). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión* (2ª ed.). México: Editorial Limusa.
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Global EV Outlook 2023*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- International Council on Clean Transportation (ICCT). (2018). *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions*. ICCT. <https://theicct.org/publication/ghg-emissions-from-manufacturing-a-battery-electric-vehicle-jul18/>
- Gouveia, S., de la Iglesia, D. H., Abrantes, J. L., López Rivero, A. J., Silva, E., Gouveia, E., & Santos, V. (2025). Creating Value Through Strategic Management: Sustainable Mobility for Family-Owned Small-and Medium-Sized Enterprises with Electric Vehicles in the Digital Era. *Sustainability*, 17(5), 1785. <https://doi.org/10.3390/su17051785>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles y ODS 13: Acción por el clima*. <https://sdgs.un.org/goals>
- Salgado, L., Álvarez-Macías, C., Loera-Palomo, R., & García-Contreras, C. P. (2024). Progress, Challenges and Opportunities of Electromobility in Mexico. *Sustainability*, 16(9), 3754. <https://doi.org/10.3390/su16093754>
- Sapag Chain, N. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6ª ed.). Santiago, Chile: McGraw-Hill.