

# El vehículo eléctrico como aporte de la ingeniería mecánica para conservar el medio ambiente local

*The electric vehicle as a contribution of mechanical engineering to local environmental conservation*

**Pablo Samuel Escobar Bazán**

[pablo.escobar\\_inv@universidadlapaz.edu.py](mailto:pablo.escobar_inv@universidadlapaz.edu.py)

<https://orcid.org/0000-0001-8200-9110>

Universidad La Paz. Ciudad del Este,  
Paraguay

**Claritza Claret Finol Romero**

[claritza.finol@universidadlapaz.edu.py](mailto:claritza.finol@universidadlapaz.edu.py)

<https://orcid.org/0009-0003-2909-5007>

Universidad La Paz. Ciudad del Este,  
Paraguay

Recibido el 12 de febrero de 2025/Arbitrado el 05 de marzo de 2025/Aceptado el 14 de mayo de 2025/Publicado el 04 de julio de 2025

## RESUMEN

Este estudio analiza el vehículo eléctrico (VE) como aporte de la ingeniería mecánica para la conservación del medio ambiente en la ciudad del Este, Paraguay. Mediante un enfoque cuantitativo descriptivo, se aplicaron cuestionarios dicotómicos (sí/no) a 20 expertos del sector automotriz y 39 usuarios. Los datos se procesaron con SPSS v.28, empleando análisis descriptivo comparativo, prueba de chi-cuadrado, análisis de correspondencias múltiples (ACM) y comparación cualitativa con estudios regionales. Los resultados muestran una percepción altamente favorable hacia los VE (91,5% reconoce su impacto ambiental positivo), aunque el 91,5% también identifica el alto costo inicial como principal barrera. El ACM reveló diferencias perceptuales entre expertos y usuarios. Se concluye que, pese al reconocimiento de sus beneficios ecológicos y económicos, se requieren políticas públicas que reduzcan barreras económicas y fortalezcan la infraestructura para impulsar su adopción sostenible.

**Palabras Claves:** Conservación ambiental; Ingeniería mecánica; Movilidad sostenible; Tecnología limpia; Vehículo eléctrico.

## ABSTRACT

This study examines the electric vehicle (EV) as a contribution of mechanical engineering to environmental conservation in Ciudad del Este, Paraguay. A quantitative, descriptive, cross-sectional design was employed, and two dichotomous (yes/no) questionnaires were administered to 20 automotive experts and 39 users between May and October 2024. Data were analyzed in IBM SPSS v.28 using comparative descriptive analysis, chi-square tests, multiple correspondence analysis (MCA), and qualitative comparison with regional studies. Results indicate a highly favorable perception of EVs (91.5% of respondents recognized their positive environmental impact), although 91.5% also cited high initial cost as the main barrier. The MCA revealed perceptual differences between experts and users. The study concludes that, despite strong recognition of the ecological and economic benefits of EVs, effective adoption requires public policies that reduce economic barriers and strengthen charging infrastructure to promote sustainable mobility.

**Keywords:** Electric vehicle; Mechanical engineering; Environmental conservation; Sustainable mobility; Clean technology.

## INTRODUCCIÓN

El deterioro ambiental constituye uno de los desafíos más urgentes del siglo XXI, impulsado en gran medida por la creciente contaminación atmosférica derivada del uso masivo de vehículos de combustión interna. A nivel global, el sector transporte es responsable del 24 % de las emisiones directas de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía, y en países en desarrollo como Paraguay, esta cifra se agrava por la antigüedad del parque automotor y la dependencia de combustibles fósiles (Udendhran et al., 2025). En la ciudad del Este, ubicada en la región del Alto Paraná, el crecimiento urbano acelerado, el intenso tráfico fronterizo y la falta de políticas de movilidad sostenible han intensificado los niveles de contaminación del aire, ruido y emisiones de gases de efecto invernadero, afectando tanto la calidad ambiental como la salud pública (Chaves, 2024).

Ante este escenario, se hace imperativo explorar alternativas tecnológicas que reduzcan los impactos ambientales negativos del transporte. La transición hacia sistemas de movilidad limpia no solo responde a compromisos internacionales como el Acuerdo de París, sino que también representa una oportunidad para fortalecer la sostenibilidad local, mejorar la calidad de vida y promover la innovación tecnológica (Pérez, 2023). En este contexto, la ingeniería mecánica emerge como un pilar fundamental, al liderar el diseño, desarrollo e implementación de soluciones técnicas que equilibran eficiencia energética, funcionalidad y respeto por el medio ambiente.

Por lo que, una de las propuestas más prometedoras es el vehículo eléctrico (VE), cuya operación no genera emisiones directas de gases contaminantes y presenta una eficiencia energética hasta tres veces mayor que los vehículos de combustión (Viera, 2023). A diferencia de los automóviles tradicionales, que convierten solo el 20–30 % de la energía del combustible en movimiento útil, los VE aprovechan más del 85 % de la energía eléctrica almacenada en sus baterías (Udendhran et al., 2025). Esta ventaja, sumada a menores costos de mantenimiento y ausencia de ruido mecánico, posiciona al vehículo eléctrico como una alternativa viable para ciudades como la del Este, donde la movilidad diaria es intensa y los niveles de contaminación acústica y atmosférica son crecientes.

En este contexto, la literatura científica reciente ha documentado ampliamente los beneficios ambientales y económicos de los vehículos eléctricos. Bonisoli y Córdova (2023), en un estudio realizado en Ecuador, demostraron que la intención de compra de VE está fuertemente influenciada por la preocupación ambiental y la percepción de ahorro energético. Por su parte, DiManojlović et al. (2023) analizó el impacto de la integración de VE en la red eléctrica de Guatemala, concluyendo que, con una matriz energética renovable, los beneficios ambientales se maximizan. A nivel tecnológico, los VE se clasifican en tres categorías principales: vehículos eléctricos de batería (BEV), híbridos enchufables (PHEV) y híbridos convencionales (HEV), siendo los BEV los únicos que operan exclusivamente con electricidad y sin emisiones locales (Páez et al., 2020; Pérez, 2023).

No obstante, en Paraguay persisten barreras relacionadas con la percepción de alto costo inicial, infraestructura de recarga limitada y desconocimiento técnico sobre los beneficios reales de estos vehículos (Chaves, 2024). Esta situación es particularmente crítica en la ciudad del Este, un centro logístico y comercial con alta densidad vehicular, donde la contaminación del aire y el ruido representan riesgos para la salud respiratoria y auditiva de la población (Hernández Cerdas et al., 2023; Viera, 2023).

Por tanto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera contribuye la

ambiente en la ciudad del Este mediante el

desarrollo y promoción del vehículo eléctrico? Esta interrogante guía el presente estudio, cuyo objetivo general es analizar el vehículo eléctrico como aporte de la ingeniería mecánica para la conservación del medio ambiente en la ciudad del Este, Paraguay. Se busca no solo describir sus características técnicas y ventajas ecológicas, sino también evaluar su potencial de impacto en la sostenibilidad urbana local, considerando las condiciones socioeconómicas y energéticas del contexto paraguayo.

## METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en la ciudad del Este, ubicada al este de la Región Oriental de Paraguay, durante el periodo comprendido entre mayo y octubre de 2024. Se adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo, no experimental y de corte transversal, que permitió describir y comparar las características de dos grupos clave relacionados con el uso y conocimiento de vehículos eléctricos en esta región. La población estuvo conformada por dos grupos: uno compuesto por 20 personas vinculadas a la industria automotriz, incluyendo ingenieros mecánicos, técnicos automotrices y personal de ventas y postventa; y otro integrado por 39 usuarios, conductores y posibles compradores de vehículos eléctricos con diferentes profesiones y edades superiores a 30 años, todos residentes en Ciudad del Este.

Para la recolección de datos se utilizaron dos cuestionarios con preguntas cerradas y opciones de respuesta tipo sí/no, Cuestionario para expertos: 25 ítems sobre características técnicas, eficiencia energética y sostenibilidad del vehículo eléctrico. Cuestionario para usuarios: 21 ítems sobre percepción de costos, beneficios ambientales, facilidad de uso y barreras de adopción. Ambos instrumentos fueron validados por juicio de expertos y pilotados previamente para asegurar claridad y comprensión.

Los cuestionarios se administraron de forma presencial y virtual, garantizando el anonimato y el consentimiento informado. Los datos se codificaron en una matriz binaria (1 = sí, 0 = no), estos fueron diseñados específicamente para cada grupo para captar información sobre características técnicas, económicas y ambientales de los vehículos eléctricos. El proceso metodológico incluyó inicialmente la formulación clara de objetivos, seguido por la elaboración y validación de los instrumentos de recolección, la aplicación de las encuestas y la posterior tabulación de datos. Se contó con la asesoría de expertos para validar el diseño y la interpretación de los resultados.

En relación al análisis de datos, se realizó un análisis descriptivo comparativo entre los grupos mediante frecuencias absolutas y relativas, lo que permitió establecer patrones y diferencias. Para variables con variabilidad significativa, como el costo inicial de los vehículos, se aplicaron pruebas de chi-cuadrado para evaluar la significancia estadística de las diferencias observadas. Asimismo, se implementó un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) con el objetivo de visualizar los patrones globales de asociación entre las variables categóricas. Además, se llevó a cabo una comparación cualitativa rigurosa con estudios regionales previos para contextualizar y profundizar en los hallazgos obtenidos. Todo el procesamiento estadístico se realizó a través del software IBM SPSS Statistics versión 28, garantizando la precisión y validez de los resultados obtenidos.

## RESULTADOS

**35** En la Tabla 1 se evidencia un análisis descriptivo comparativo en el que el 80.0% de los expertos y el 94.9% de los usuarios respondieron afirmativamente sobre la variable estudiada, alcanzando un total del 91.5% en ambos grupos, lo que demuestra una alta concordancia en la percepción entre estos.

**Tabla 1.** *Análisis descriptivo comparativo entre grupos (expertos vs. usuarios)*

Grupos	Si (%)	No (%)	Total
Expertos (n=20)	80.0	20.0	20
Usuarios (n=39)	94.9	5.1	39
Total	91.5	8.5	59

Por otro lado, la Tabla 2 presenta los resultados de la prueba de chi-cuadrado para el ítem “Costo inicial elevado”, donde se obtuvo un valor de  $\chi^2=4.32$  con un grado de libertad y un p-valor de 0.038, evidenciando una asociación estadísticamente significativa entre el grupo y la percepción del costo inicial; además, el coeficiente Phi de 0.27 indica un tamaño del efecto moderado, lo que refleja una relación relevante aunque no muy fuerte entre las variables.

**Tabla 2.** *Prueba de chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) y coeficiente Phi ( $\phi$ ) para el ítem “Costo inicial elevado”*

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado ( $\chi^2$ )	4.32
gl	1
p-valor	0.038
Coeficiente Phi ( $\phi$ )	0.27
Tamaño del efecto	Moderado

En lo que respecta a la visualización de patrones globales de asociación, la Tabla 3 muestra las coordenadas principales derivadas del Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), donde se observa que los expertos tienden a ubicarse en valores negativos de la dimensión 1 (-0.42) y positivos en la dimensión 2 (0.15), mientras que los usuarios presentan una tendencia opuesta, sugiriendo diferencias perceptuales entre ambos grupos. Asimismo, las categorías relacionadas con el “Costo inicial” y el “Ahorro en mantenimiento” se encuentran en posiciones distintivas que facilitan la interpretación clara de asociaciones; por ejemplo, la categoría “Costo inicial: Sí” se posiciona en el positivo de la dimensión 1 (0.38) y negativo en la dimensión 2 (-0.28), mientras que “Costo inicial: No” presenta coordenadas opuestas, subrayando la relevancia de esta variable en la segmentación de las percepciones. Finalmente, la categoría “Impacto ambiental positivo: Sí” se localiza cercana al grupo de expertos, enfatizando una asociación favorable entre la percepción ambiental y el grupo técnico.

**Tabla 3.** *Coordenadas principales del Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM)*

<b>Categoría</b>	<b>Dimensión 1</b>	<b>Dimensión 2</b>
Grupo: Expertos	-0.42	0.15
Grupo: Usuarios	0.21	-0.33
Costo inicial: Sí	0.38	-0.28
Costo inicial: No	-1.12	0.95
Ahorro en mantenimiento: Sí	-0.55	0.41
Impacto ambiental positivo: Sí	-0.61	0.37

Adicionalmente, la comparación cualitativa con estudios regionales que aparece en la Tabla 4 permite contextualizar los hallazgos mostrando similitudes y diferencias entre la Ciudad del Este (Paraguay), Ecuador y Guatemala. En cuanto a la percepción ambiental, los tres estudios presentan una visión mayormente positiva, con Ciudad del Este reportando un 100% de percepción favorable, mientras que en Ecuador existe una alta preocupación ambiental adoptada desde un enfoque técnico-energético.

Respecto a las barreras, el costo inicial elevado aparece como un factor destacado en Ciudad del Este (91.5%), coincidiendo con Ecuador donde es percibido como el principal obstáculo, mientras que en Guatemala la viabilidad para la adopción de vehículos eléctricos depende notablemente de la capacidad de la red eléctrica. Por último, las ventajas identificadas en las tres regiones incluyen el ahorro en mantenimiento y la eco-amigabilidad, aunque con distintos niveles en la adopción potencial: alta en Ciudad del Este respaldada institucionalmente, moderada en Ecuador ligada a incentivos, y baja en Guatemala principalmente debido a la falta de infraestructura adecuada.

**Tabla 4.** *Comparación cualitativa con estudios regionales*

<b>Dimensión</b>	<b>Ciudad del Este (Paraguay)</b>	<b>Ecuador</b>	<b>Guatemala</b>
Percepción ambiental	100 % positiva	Alta preocupación ambiental	Enfoque técnico-energético
Barrera económica	Costo inicial elevado (91.5 %)	Costo percibido como principal obstáculo	Viabilidad depende de capacidad de la red eléctrica

Ventaja percibida	Ahorro en mantenimiento (100 %)	Eco-amigabilidad	Reducción de emisiones
Adopción potencial	Alta, con apoyo institucional	Moderada, ligada a incentivos	Baja sin infraestructura

## DISCUSIÓN

Los altos niveles de percepción positiva tanto en expertos como en usuarios coinciden con los enfoques optimistas que reportan Picatoste et al. (2022), quienes destacan la importancia de la circularidad y el impacto ambiental minimizado de las baterías en vehículos eléctricos como un aspecto clave para su aceptación y sostenibilidad. Sin embargo, el hallazgo del “costo inicial elevado” como una barrera significativa, comprobado estadísticamente en nuestro estudio, resuena con los análisis de Rapson y Muehlegger (2023), quienes enfatizan que la economía de los vehículos eléctricos representa uno de los principales retos para su adopción masiva, debido al alto costo de adquisición inicial a pesar de los beneficios a largo plazo.

El uso del Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para visualizar diferencias en las percepciones de expertos y usuarios aporta una perspectiva innovadora al estudio, pues este método permite revelar asociaciones ocultas y patrones complejos entre variables categóricas. En línea con estudios previos como los de Franzò y Nasca (2021), que se centraron en la evaluación técnica del ciclo de vida y el impacto ambiental de los vehículos eléctricos en escenarios multinacionales, y Zhang et al. (2023), quienes realizaron evaluaciones regionales y globales del impacto medioambiental, nuestro estudio expande estas aproximaciones al incorporar la dimensión perceptual y comportamental, reflejando cómo las percepciones individuales pueden estar estrechamente ligadas a factores ambientales y económicos. Esto es congruente con otras investigaciones que utilizan análisis multivariado para entender las preferencias y decisiones de consumo en materia de vehículos eléctricos, tal como ha sido abordado en estudios de aceptación de nuevos productos tecnológicos.

Además, esta aproximación geométrica y estadística permite capturar las diferencias perceptuales que pueden originarse en la experiencia técnica o el conocimiento más profundo de los expertos frente a percepciones más experienciales o pragmáticas de los usuarios. Esto apoya la noción de que las decisiones hacia un transporte sostenible no solo son resultado de factores técnicos o económicos en abstracto, sino que están mediadas por percepciones que influyen en las elecciones individuales y colectivas, como han señalado investigaciones sobre la influencia de las emociones y actitudes en la intención de compra de vehículos eléctricos (He et al., 2023). De esta forma, se evidencia que el ACM no solo es una herramienta robusta para explorar patrones de respuesta, sino también un medio para comprender cómo diferentes actores valoran aspectos ambientales y económicos.

En consecuencia, la integración de esta metodología aporta una visión holística que puede ayudar a diseñar estrategias de educación y políticas públicas orientadas a reducir las barreras perceptuales y a destacar los beneficios ambientales y económicos, lo cual es vital en las regiones emergentes donde la infraestructura y la información aún presentan retos (Martínez-Gómez & Espinoza, 2024). Esta perspectiva basada en datos multivariados puede facilitar la segmentación de campañas de sensibilización, alineándose con la recomendación de Novas et al. (2022) sobre la importancia de intervenciones diferenciadas para distintos segmentos de la población en la transición

hacia vehículos eléctricos. Así, el uso del ACM en nuestro estudio refuerza la necesidad de considerar las percepciones como variables clave en la adopción y aceptación social de tecnologías limpias.

La comparación cualitativa con estudios en Ecuador y Guatemala muestra paralelismos significativos, especialmente en la preocupación ambiental y las barreras económicas, en línea con lo reportado por Martínez-Gómez y Espinoza (2024) sobre los retos y oportunidades para estaciones de carga en América Latina y la variabilidad en la infraestructura disponible. Cabe señalar que estudios como los de Bhosale y Mastud (2023) y Manojlović et al. (2023) sustentan que las diferencias regionales en costos, infraestructura y políticas influyen decisivamente en la percepción y adopción del vehículo eléctrico, reflejando realidades complejas que nuestro análisis cualitativo regional confirma.

No obstante, se encuentran aportaciones distintas en la evaluación del impacto ambiental y económico. Por ejemplo, Rapa et al. (2020) resaltan que, aunque el ahorro en mantenimiento es reconocido globalmente, la viabilidad económica depende fuertemente del origen de la electricidad utilizada y las políticas energéticas locales, lo que puede no ser tan evidente desde la percepción directa de los usuarios. Asimismo, Koniak et al. (2024) destacan que los avances técnicos y la reducción de costos aún son factores dinámicos, por lo que las percepciones pueden variar rápidamente con la evolución tecnológica, un aspecto que nuestros resultados sugieren a través de la diferencia perceptual entre expertos y usuarios.

Finalmente, la revisión global por Novas et al. (2022) plantea desafíos de investigación y desarrollo que incluyen la educación pública, políticas de incentivo y mejora de infraestructura, coincidiendo con nuestras recomendaciones enfocadas en la necesidad de campañas educativas y políticas públicas que reduzcan las barreras económicas y tecnológicas detectadas en Ciudad del Este, Paraguay. Así, el presente estudio contribuye al cuerpo de conocimiento ofreciendo evidencia empírica local que pone en relieve la importancia de abordar percepciones y realidades económicas para potenciar la transición hacia vehículos eléctricos en contextos emergentes.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que tanto expertos como usuarios muestran una percepción favorable sobre las ventajas de los vehículos eléctricos, particularmente en cuanto a la eficiencia energética, el impacto positivo ambiental y el ahorro en mantenimiento. Esto sugiere un creciente reconocimiento del valor de estos vehículos en la conservación del medio ambiente y la economía personal, lo que concuerda con estudios previos que reflejan una aceptación amplia y positiva de esta tecnología emergente. Sin embargo, el costo inicial elevado continúa percibiéndose como la principal barrera para su adopción, situación que afecta de modo relevante las decisiones de compra, especialmente en contextos donde los incentivos económicos y la infraestructura aún son limitados.

Asimismo, las diferencias perceptuales detectadas entre expertos y usuarios, evidenciadas mediante el Análisis de Correspondencias Múltiples, reflejan distintos niveles de conocimiento y valoración sobre aspectos técnicos y económicos del vehículo eléctrico, destacando la necesidad de estrategias diferenciadas para abordar inquietudes y promover la aceptación en ambos grupos. En particular, la cercanía de los expertos a la percepción de un impacto ambiental positivo indica que el conocimiento técnico podría facilitar una visión más optimista y fundamentada sobre los beneficios

ecológicos de la tecnología eléctrica.

Finalmente, la comparación con estudios regionales resalta que, aunque la percepción ambiental favorable es bastante homogénea, las barreras económicas, culturales y de infraestructura son variables contextuales que deben ser consideradas para diseñar políticas públicas efectivas y fomentos institucionales adecuados. Por tanto, para favorecer la transición hacia una movilidad sostenible es esencial implementar campañas educativas, mejorar la accesibilidad económica y fortalecer la infraestructura de carga, elementos que contribuirán a superar la resistencia actual y a potenciar un mercado más inclusivo y sostenible.

## REFERENCIAS

- Bhosale, A. P., & Mastud, S. A. (2023). Comparative environmental impact assessment of battery electric vehicles and conventional vehicles: A case study of India. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 36(5), 965-978. <https://doi.org/10.5829/ije.2023.36.05b.13>
- Bonisoli, L., & Córdova, Y. M. R. (2023). Relacionando innovación y conciencia ambiental: Análisis de la adopción de los vehículos eléctricos en Ecuador. *Revista geográfica venezolana*, 64(1), 58-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9036576>
- Chaves, E. R. (2024). Movilización vehicular y medio ambiente, ¿son los autos eléctricos la ruta hacia una solución definitiva?: el caso costarricense. *Revista Académica Arjé*, 7(1), 28-62. <https://doi.org/10.47633/>
- Franzò, S., & Nasca, A. (2021). The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios. *Journal of cleaner production*, 315, 128005. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128005>
- He, L., Gu, Z., Zhang, Y., Jing, H., & Li, P. (2023). Review on thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles: advances, challenges, and outlook. *Energy & Fuels*, 37(7), 4835-4857. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c04243>
- Hernández Cerda, C. N., Ávila Galarza, A., & Cerda Alonso, D. G. (2023). Impacto de la movilidad urbana en la calidad del aire de la zona metropolitana de San Luis Potosí, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1). <http://dx.doi.org/10.15359/rca.57-1.8>
- Koniak, M., Jaskowski, P., & Tomczuk, K. (2024). Review of economic, technical and environmental aspects of electric vehicles. *Sustainability*, 16(22), 9849. <https://doi.org/10.3390/su16229849>
- Manojlović, A. V., Medar, O. M., Anđelković, A. S., & Tomić, M. A. (2023). Environmental impact assessment of the electric vehicles: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(1), 1007-1016. <https://doi.org/10.1080/15567036.2023.2173342>
- Martínez-Gómez, J., & Espinoza, V. S. (2024). Challenges and Opportunities for Electric Vehicle Charging Stations in Latin America. *World Electric Vehicle Journal*, 15(12), 583. <https://doi.org/10.3390/wevj15120583>
- Novas, N., Garcia Salvador, R. M., Portillo, F., Robalo, I., Alcayde, A., Fernández-Ros, M., & Gázquez, J. A. (2022). Global perspectives on and research challenges for electric vehicles. *Vehicles*, 4(4), 1246-1276. <https://doi.org/10.3390/vehicles4040066>
- Páez, F. E. M., Ushiña, D. J. G., Yanzapanta, Á. G. M., & Matailo, J. C. J. (2020). Modelo de componentes de un vehículo eléctrico que aportan a un análisis de la tecnología limpia en la industria automotriz. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(8), 689-705. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7554374>
- Pérez, J. A. E. (2023). El necesario impulso al vehículo eléctrico y su infraestructura de recarga en

- Picatoste, A., Justel, D., & Mendoza, J. M. F. (2022). Circularity and life cycle environmental impact assessment of batteries for electric vehicles: Industrial challenges, best practices and research guidelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112941. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112941>
- Rapa, M., Gobbi, L., & Ruggieri, R. (2020). Environmental and economic sustainability of electric vehicles: Life cycle assessment and life cycle costing evaluation of electricity sources. *Energies*, 13(23), 6292. <https://doi.org/10.3390/en13236292>
- Rapson, D. S., & Muehlegger, E. (2023). The economics of electric vehicles. *Review of environmental economics and policy*, 17(2), 274-294. <https://ideas.repec.org/p/nbr/nberwo/29093.html>
- Sanz, M. (2023). Vehículos eléctricos: Fundamentos técnicos y perspectivas de sostenibilidad. *Tecnología y Desarrollo Sostenible*, 11(3), 78–92. <https://doi.org/10.21676/tds.2023.11.3.78>
- Udendhran, R., Mohan, T. R., Uthra, R. A., Selvakumarasamy, S., Dinesh, G., Mukhopadhyay, M., ... & Chakraborty, P. (2025). Transitioning to sustainable E-vehicle systems—Global perspectives on the challenges, policies, and opportunities. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 17, 100619. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100619>
- Viera, R. M. (2023). Impacto medioambiental en el uso de las baterías de vehículos eléctricos en España. *Observatorio medioambiental*, (26), 229-246. <http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.93027>
- Zhang, H., Xue, B., Li, S., Yu, Y., Li, X., Chang, Z., ... & Su, Y. (2023). Life cycle environmental impact assessment for battery-powered electric vehicles at the global and regional levels. *Scientific Reports*, 13(1), 7952. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35150-3>