

Análisis del impacto ambiental del uso de vehículos eléctricos frente a vehículos de combustión interna

Analysis of the environmental impact of the use of electric vehicles compared to internal combustion vehicles

Paredes, Anthony¹, Aguirre, Patricio², Esparza, Alexander³, Castro, Christian⁴

Recibido: 20/03/2026

Aceptado: 10/05/2026

Publicado: 15/06/2026

Categoría: Artículo científico

RESUMEN

El creciente interés por la sostenibilidad ambiental ha impulsado a gran medida el desarrollo de tecnologías alternativas al uso de combustibles fósiles, Para este contexto los vehículos eléctricos (VE) se han desarrollado como una alternativa viable para la reducción de gases contaminantes de efecto invernadero en comparación con los vehículos de combustión interna (VCI), esto con la finalidad del cuidado y protección del medio ambiente. Esta investigación analiza el impacto ambiental de ambas tecnologías, teniendo en cuenta el ciclo de vida de los vehículos, la generación de energía de cada una de estas tecnologías, y el proceso de reciclaje, Se concluye que, aunque los vehículos Eléctricos presentan ventajas en la fase de uso y cuidado al medio ambiente, su fabricación y desecho presentan desafíos ambientales que deben ser abordados.

Palabras Clave: Vehículos eléctricos, combustión interna, tecnologías, energía renovable, contaminación

ABSTRACT

The growing interest in environmental sustainability has greatly boosted the development of alternative technologies to the use of fossil fuels. In this context, electric vehicles (EV) have been developed as a viable alternative for reducing greenhouse gas pollutants compared to internal combustion vehicles (ICV), with the aim of caring for and protecting the environment. This research analyzes the environmental impact

¹ Instituto Tecnológico Superior Mayor Pedro Traversari (Quito, Ecuador)

anthony.paredes@istpet.edu.ec
ORCID: 0009-0006-4146-7346

² Instituto Tecnológico Superior Mayor Pedro Traversari (Quito, Ecuador)

patricio.aguirre@istpet.edu.ec
ORCID: 0009-0004-5056-5672

³ Instituto Tecnológico Superior Mayor Pedro Traversari (Quito, Ecuador)

alexander.esparza@istpet.edu.ec
ORCID: 0009-0003-4372-2425

⁴ Instituto Tecnológico Superior Mayor Pedro Traversari (Quito, Ecuador)

christian.castro@istpet.edu.ec
ORCID: 0009-0001-0499-5207

of both technologies, taking into account the life cycle of the vehicles, the energy generation of each of these technologies, and the recycling process, and concludes that, although electric vehicles present advantages in the use and environmental care phase, their manufacturing and design present environmental challenges that must be addressed.

Keywords: Electric vehicles, internal combustion, technologies, renewable energy, pollution

INTRODUCCIÓN

El sector del transporte es una de las principales fuentes de emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero en el mundo (IPCC, 2021). Ante este suceso y la necesidad de poder reducir la huella de carbono que emiten los vehículos, los vehículos eléctricos han ganado popularidad como una de las alternativas sostenibles a comparación de los vehículos de combustión interna. Sin embargo, su impacto ambiental depende así también de diversos factores como lo son las fuentes de energías utilizada para su carga y los procesos de fabricación de reciclaje de sus componentes. Esta investigación tiene como propósito llevar a cabo un análisis exhaustivo del impacto ambiental generado por los vehículos eléctricos en contraste con los vehículos de combustión interna, con la finalidad de poder evaluar cada etapa de ciclo de vida de dichas tecnologías, así como también la extracción y procesamiento de materias primas para la fabricación de dichos vehículos hasta su uso, mantenimiento y disposición final. Se examinará la producción de baterías de iones de litio, cobalto y níquel, considerando factores como la extracción de litio, cobalto, níquel, el consumo energético de los procesos industriales y las emisiones indirectas derivadas a la generación de electricidad utilizada en su manufactura y recarga, así como es el proceso de reciclaje de estas. (García y Ramírez, 2021). Asimismo, se analizará el consumo energético durante la operación de ambos tipos de vehículos, abordando las diferencias en eficiencia energética, emisiones de CO₂ y otros contaminantes en función de la matriz energética de cada país. Se explorarán los desafíos inherentes a la transición hacia una movilidad electrificada, incluyendo la infraestructura de carga, la capacidad de generación y distribución eléctrica, la degradación y reciclaje de baterías, y las implicaciones ambientales y económicas de un aumento masivo en la demanda de materiales críticos masivo en la demanda de materiales críticos (Fernández et al., 2022).

METODOLOGÍA

La investigación se basó en un análisis comparativo del impacto ambiental entre vehículos eléctricos (VE) y vehículos de combustión interna (VCI), considerando su ciclo de vida completo: fabricación, uso y disposición final. Se recopilaron datos sobre emisiones de CO₂, consumo energético, materiales utilizados y procesos de reciclaje. Se analizaron los componentes principales de ambas tecnologías, desde la extracción de materias primas hasta el ensamblaje, tomando como referencia motores eléctricos de 100 kW y motores de combustión a gasolina. Para los VE se consideró un recorrido promedio de 250.000 km con un consumo de 16,03 kWh cada 100 km, mientras que para los VCI un consumo de 6,55 litros de combustible por cada 100 km. Se emplearon dos escenarios energéticos: uno basado en el mix eléctrico de Estados Unidos, dominado por fuentes fósiles, y otro en el mix europeo, con mayor proporción de

energías renovables. Este enfoque permitió determinar cómo la matriz energética incide en las emisiones indirectas. Finalmente, se representaron los resultados en términos relativos para facilitar la comparación visual de los impactos ambientales, identificando los procesos más críticos en sostenibilidad y permitiendo evaluar la eficiencia ambiental de ambas tecnologías de propulsión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación del impacto ambiental es un análisis esencial para poder evaluar diferentes actividades, lo que ayuda a determinar el impacto ambiental entre vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos lo cual es un tema clave en la transición hacia una movilidad mas sostenible, mientras que los motores de combustión interna generan emisiones contaminantes que afectan al ecosistema, teniendo en cuenta que los vehículos eléctricos reducen estas emisiones directas pero el impacto ambiental de estos va a depender en gran medida en la fabricación de baterías y la fuente de energía utilizada, existen diversos factores como el consumo de recursos, ciclo de vida y reciclaje que influyen en gran escala en la evaluación ambiental de ambos tipos de vehículos. Este análisis permite comprender sus ventajas y desafíos en términos de sostenibilidad.

Emisiones en la fase de uso

Los vehículos de combustión interna emiten grandes cantidades de CO₂ así también otros contaminantes como lo es el óxido de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM), lo cual afecta al cambio climático y a problemas de la salud (EEA, 2022). A diferencia de los vehículos eléctricos los cuales son vehículos que no generan emisiones directas al ambiente, aunque este tipo de tecnologías su impacto ambiental depende de sus procesos de fabricación y su matriz energética la cual es utilizada para su carga (U.S. Department of Energy, 2023).

Tabla 2: Componentes característicos de ambas tecnologías.

Componentes de Vehículos Eléctricos	Componentes de Vehículos de Combustión Interna
Motor eléctricos AC.	Motor de Combustión Interna (Gasolina).
Batería de alta tensión.	Depósito de gasolina.
Inversor (DC/AC) y VCU (Unidad de control del vehículo).	Sistema de gases de escape.
Cargador On-board.	Transmisión.
Convertidor DC/AC.	Alternador.
BMS (Sistema de gestión de batería).	ECU (Sistema de control electrónico).
Bomba de calor (Calefacción).	
Conectores y cableado del sistema eléctrico.	

Para ello se analizan la construcción de componentes, con la finalidad de que cada uno de ellos se analice en sus términos de extracción de materiales, fabricación, esfuerzos de transporte y energía necesaria para la producción como es el caso de la producción de un motor eléctrico AC el cual se utiliza en un modelo

de Brusa que opera a 100 kW el cual el análisis debe cubrir desde la obtención de la materia prima hasta la producción final que es el ensamblamiento del mismo. En la etapa operativa, se proyecta un uso promedio de 250,000 km por vehículo eléctrico, con un consumo energético estimado en 16,03 kWh cada 100 km recorridos. Este parámetro permite evaluar el impacto ambiental durante el uso, el cual varía significativamente dependiendo del origen de la electricidad consumida. Se consideran dos escenarios energéticos: Europa, con una alta integración de fuentes renovables, y Estados Unidos, con predominio de combustibles fósiles. Esta comparación evidencia cómo el mix energético incide directamente en las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero, lo cual es clave para valorar la sostenibilidad de los vehículos eléctricos y su verdadero aporte a la reducción de impactos medioambientales a lo largo de su ciclo de vida.

Tabla 2: Mix energético de Estados Unidos, 2023

LC Stage	Nombre del proceso	Data pt
Mix de generación eléctrica de Estados Unidos	Energía Eólica	22.7%
	Energía Hidráulica	9%
	Energía Solar	11.6%
	Energía Nuclear	22%
	Energía de Combustibles fósiles (CARBON)	3%
	Energía Ciclo Combinado	25.3%
	Otros	6.4%

En este contexto, la proporción de energía generada a partir de fuentes renovables corresponde al 21,4% del total de la matriz energética. Por otro lado, se establece como segundo escenario de modelado la región europea, cuya configuración energética revela una participación más elevada de tecnologías limpias, alcanzando un 38,39% del total de la generación eléctrica mediante fuentes renovables. Esta diferencia refleja el grado de avance y compromiso de cada región con la transición energética sostenible. Además, el porcentaje de participación de energías renovables en el mix eléctrico influye directamente en la huella de carbono asociada al uso de tecnologías como la movilidad eléctrica. Por tanto, la procedencia de la electricidad constituye un factor determinante al evaluar el impacto ambiental de los sistemas energéticos actuales y futuros.

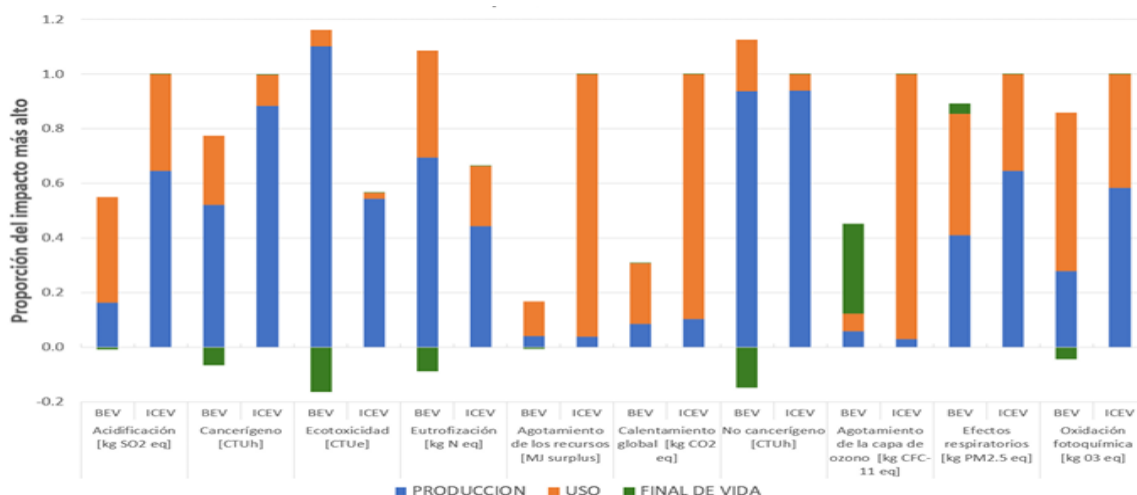
Tabla 3: Mix energético de Europa, 2023

LC Stage	Nombre del proceso	Data pt
Mix de generación eléctrica de Europa	Energía Eólica	15.06%
	Energía Hidráulica	10.10%
	Energía Solar	7.28%
	Energía Nuclear	21.92%
	Energía de Combustibles fósiles (CARBON)	15.94%
	Energía Ciclo Combinado	19.96%
	Otros	5.95%

En el caso de los Vehículos de Combustión Interna se les considera que el consumo de combustible es de 6,55 Litros por cada 100 km recorridos, lo que produce las emisiones contaminantes que salen al exterior por el tubo de escape del vehículo, así también como lo es la producción de la gasolina y su impacto en el medio ambiente. Es importante saber también que una parte esencial de la vida útil de los vehículos es el reciclaje y la reutilización de sus componentes de fabricación, en especial se presta atención al reciclaje de las baterías de los Vehículos Eléctricos, y al tratamiento de mantenimientos de los vehículos de Combustión Interna. Se ha optado por representar los resultados en términos relativos, tomando como referencia el valor máximo registrado en cada categoría de impacto ambiental. Esta metodología permite normalizar los datos, facilitando una comparación visual más clara y efectiva entre los distintos indicadores evaluados. Al expresar los resultados como proporción del impacto más elevado, se mejora la interpretación de la magnitud relativa de cada contribución. Además, este enfoque favorece la identificación de los procesos más críticos dentro del ciclo de vida analizado, optimizando la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad.

Hablando de términos generales los vehículos de combustión interna tienen mayor impacto en la contaminación ambiental así como en problemas de la salud como lo es en efectos respiratorios y oxidación fotoquímica, en el caso de problemas carcinogénicos y acidificaciones los Vehículos Eléctricos representan el 55%, y el 78% de los Vehículos de Combustión Interna, por otro lado y teniendo otra perspectiva de Vehículos de Combustión Interna en enfermedades de ecotoxicidad y eutrofización el cual representa un 58% y el 65% los Vehículos Eléctricos. En el aspecto sobre el calentamiento global el agotamiento de la capa de ozono y agotamiento de recursos los Vehículos Eléctricos tiene emisiones muchos menores a efectos invernaderos siendo el 30% respectivamente.

Figura 1: Impacto entre Vehículos Eléctricos (BEV) y Vehículos de Combustión Interna (ICEV).



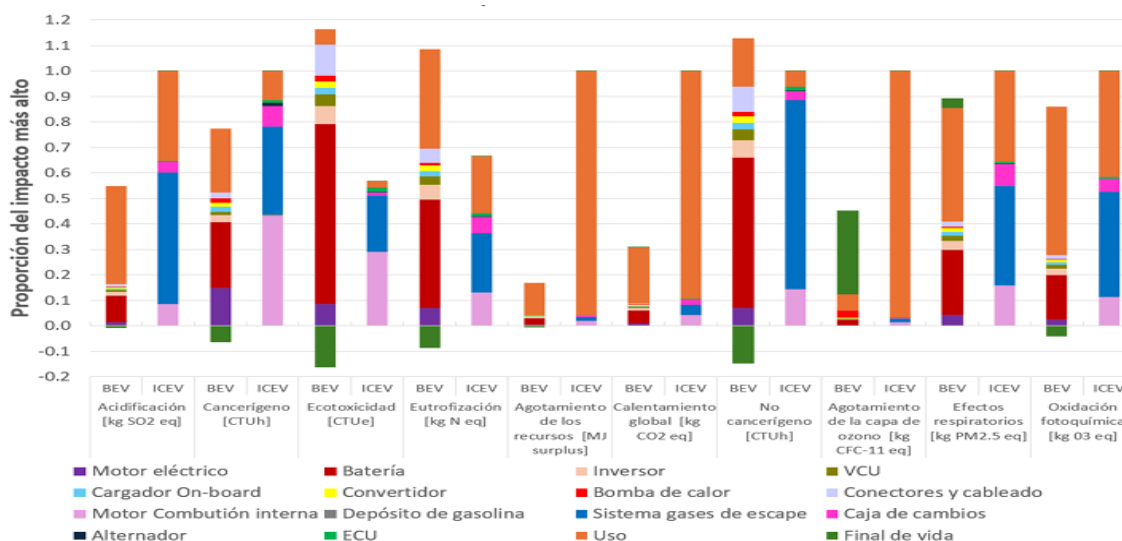
Nota. Impacto de componentes de Vehículos de Combustión Interna vs Vehículos Eléctricos sobre el tiempo de vida, producción y su uso en la industria automotriz.

Fabricación y Materiales

La producción de Vehículos Eléctricos requiere necesariamente una cantidad de energía y materiales críticos como lo son litio, cobalto y níquel para la fabricación y producción de las baterías (García-Olivares, 2020). La extracción y obtención de los materiales en materia prima generan ambientales negativos para el ecosistema como lo es la degradación y deterioro del suelo así también como la contaminación del agua (Andersson & Rade, 2021), a diferencia de los Vehículos de Combustión Interna los cuales requieren menos cantidad de materiales críticos para su elaboración y construcción, pero hay que tener en cuenta que la fabricación de estos sigue siendo una fuente significativa de emisiones de carbono y gases de efecto invernadero. Un factor determinante en la evaluación comparativa entre tecnologías de propulsión es la durabilidad operativa de sus componentes clave. En este sentido, los motores eléctricos presentan una ventaja significativa al exhibir una menor necesidad de mantenimiento preventivo y correctivo, así como una vida útil considerablemente superior respecto a los motores de combustión interna. Esta prolongación en el ciclo de vida funcional se traduce en una disminución sustancial del consumo de repuestos, lubricantes y materiales auxiliares, reduciendo con ello la huella ambiental asociada al mantenimiento. No obstante, esta ventaja se ve parcialmente contrarrestada por los desafíos que plantea la fabricación de sistemas de almacenamiento energético, especialmente las baterías de ion-litio. Su producción implica una elevada demanda energética, así como la extracción intensiva de minerales estratégicos como el litio, cobalto y níquel, cuyos procesos de obtención generan impactos socioambientales significativos. Por lo tanto, aunque la electrificación del transporte ofrece beneficios en términos de eficiencia y durabilidad, la sostenibilidad integral del sistema depende en gran medida del desarrollo de tecnologías de baterías más limpias y de cadenas de suministro responsables. Teniendo en cuenta que ambos tipos de tecnologías emiten contaminantes de diferentes maneras se puede determinar que el mayor contaminante para el ecosistema es el CO2 el cual es producido principalmente por los Vehículos de Combustión Interna, esto conlleva que existe una escasez de combustibles fósiles mediante la producción de gasolina a través de

la fabricación del petróleo, mediante este proceso de fabricación también se producen y se emiten clorofluorocarbonos (CFC) e hidroclorofluorocarbónos (HCFC) conllevando al desgaste de la capa de ozono del planeta. Por otro lado, en la etapa terminal de las baterías se ha conseguido reducir un 15% mediante el reciclaje los impactos causados por la ecotoxicidad y no carcinógenos, lo que ha conllevado que los Vehículos Eléctricos tengan un 45% de contaminación por reciclaje de baterías de litio, lo que produce el deterioro de la capa de ozono del planeta.

Figura 2: Impactos en la producción de ambas tecnologías.



Nota. Impactos de producción en ambas tecnologías, como materiales de construcción.

En los Vehículos Eléctricos se puede analizar la batería sobresale sobre cualquier otro componentes, principalmente debido por su intensiva extracción de materiales como lo son litio, hierro y fosforo, los cuales son materiales primos que van dañando y deteriorando la tierra, este proceso contribuye a mas del 80% de los impactos en categorías como lo es la ecotoxicidad, neurotoxicidad y sustancias no carcinógenas, dado en si a su degradación del suelo así también como lo es la contaminación del agua.

Figura 3: Batería de Vehículos Eléctricos.



Nota. Se representa en la ilustración una batería de litio la cual es fabricada principalmente para los vehículos eléctricos.

El motor eléctrico de este tipo de tecnologías es significativo, el cual aporta notablemente la acidificación por medio de gases ácidos lo cual afecta otro tipo de categorías como carcinógenos y ecotoxicidad, debido principalmente a los materiales de construcción y procesos de fabricación, además tiene un papel considerable en la eutrofización, derivado de los procesos industriales.

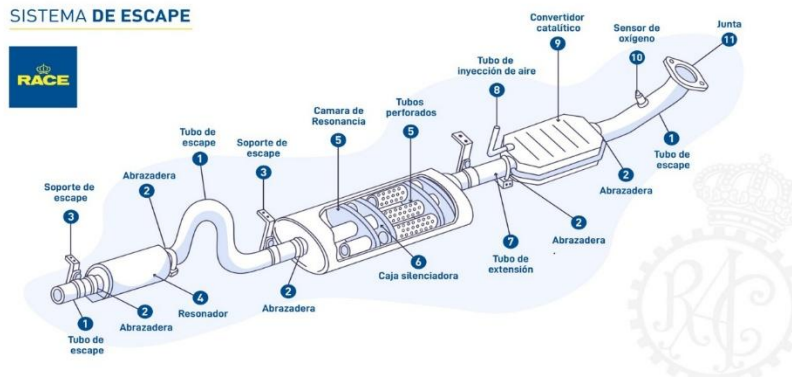
Figura 4: Motor de un Vehículo Eléctico



Nota. Se representa en la ilustración la implementación de un motor eléctrico en un vehículo, así como sus partes y componentes.

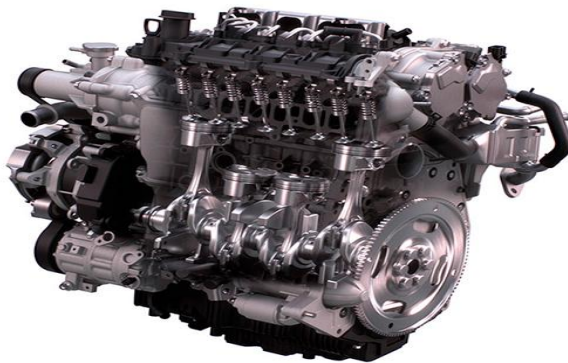
Por otro lado en los Vehículos de Combustión Interna destaca principalmente el sistema de gases de escape, especialmente los convertidores catalíticos ya que este cuenta con una incidencia significativa en casi todas las categorías ambientales, ya que los procesos y materiales de fabricación que este sistema cuenta afectan en gran medida al ecosistema los óxidos de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO₂) contribuyen en la acidificación y eutrofización al relacionarse con la atmósfera, lo que permite que esto se relacione con la atmósfera y produzca lluvias ácidas esto afecta en gran escala y negativamente a los ecosistemas acuáticos como a los ecosistemas terrestres. Asimismo, los metales pesados y compuestos químicos de alta toxicidad empleados en la fabricación de convertidores catalíticos, tales como el níquel y el cromo, contribuyen de manera significativa a las categorías de impacto relacionadas con la toxicidad humana. En particular, se estima que estos elementos son responsables de aproximadamente el 30% de los impactos en la categoría de efectos carcinogénicos, y hasta un 75% en la categoría de efectos no carcinogénicos. Esta elevada incidencia se debe a su capacidad para bioacumularse en organismos vivos y generar alteraciones a nivel celular, aumentando el riesgo de enfermedades oncológicas y otros efectos crónicos sobre la salud pública. La presencia de estos metales en el ciclo de vida de los componentes automotrices plantea un desafío ambiental y sanitario que debe ser considerado en el diseño de tecnologías más seguras y sostenibles.

El motor de combustión interna representa una fuente significativa de impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida, especialmente en términos de toxicidad humana y contaminación ecosistémica. Aproximadamente el 50% de los efectos carcinogénicos se atribuyen a la utilización de sustancias químicas peligrosas y disolventes que contienen compuestos orgánicos volátiles (COV), comúnmente presentes en pinturas industriales, aceites lubricantes y recubrimientos superficiales aplicados durante la manufactura.

Figura 5: Sistema de escape de un Vehículo de Combustión Interna.

Nota. Se aprecia la configuración de un sistema de escape de un vehículo de combustión interna, así como su diseño de fabricación.

Estos compuestos, junto con los subproductos generados en procesos de mecanizado y tratamientos térmicos de componentes metálicos, liberan partículas ultrafinas y humos cargados de metales tóxicos, lo que agrava la exposición a agentes cancerígenos. Por otro lado, se estima que el motor térmico contribuye en un 55% a la categoría de ecotoxicidad, resultado de vertidos y emisiones que contienen metales pesados, hidrocarburos no quemados y otros contaminantes persistentes que alteran el equilibrio biológico de los ecosistemas. Además, se ha identificado una contribución del 33% a la eutrofización, fenómeno impulsado por la descarga de nitratos y fosfatos en efluentes industriales, los cuales estimulan la proliferación descontrolada de algas en cuerpos de agua, generando hipoxia y afectando gravemente la biodiversidad acuática. Esta evidencia resalta la necesidad de transitar hacia tecnologías de propulsión más limpias y sostenibles.

Figura 6: Motor de Combustión Interna.

Nota. Se aprecia el diseño de un motor de combustión interna de un vehículo, así también sus partes tanto internas como externas.

Impacto Social y Económico

El sector automotriz atraviesa una etapa de transformación estructural profunda, impulsada por la transición hacia tecnologías de movilidad eléctrica y sostenible. Este proceso conlleva una reconfiguración

del mercado laboral, especialmente en áreas como la producción industrial y el mantenimiento automotriz, donde se demandan nuevas competencias técnicas orientadas a sistemas eléctricos y electrónicos de alto voltaje. A pesar del progreso tecnológico, los vehículos eléctricos (VE) continúan presentando barreras económicas significativas, particularmente en lo referente a su coste inicial, lo cual limita su penetración en economías emergentes y segmentos de menor poder adquisitivo. (Bloomberg NEF, 2023). No obstante, la masificación progresiva de los VE conlleva externalidades positivas, como la disminución de emisiones contaminantes en zonas urbanas, lo que se traduce en mejoras sustanciales en la calidad del aire. Esta reducción en la carga ambiental contribuye directamente a la salud pública, atenuando la prevalencia de enfermedades respiratorias y, por ende, reduciendo los costos sanitarios asociados. Para garantizar una transición efectiva hacia un modelo de transporte bajo en carbono, resulta imperativo que los entes gubernamentales formulen e implementen marcos normativos integrales, acompañados de incentivos económicos y fiscales que promuevan tanto la adopción masiva de tecnologías limpias como la consolidación de una infraestructura energética adecuada.

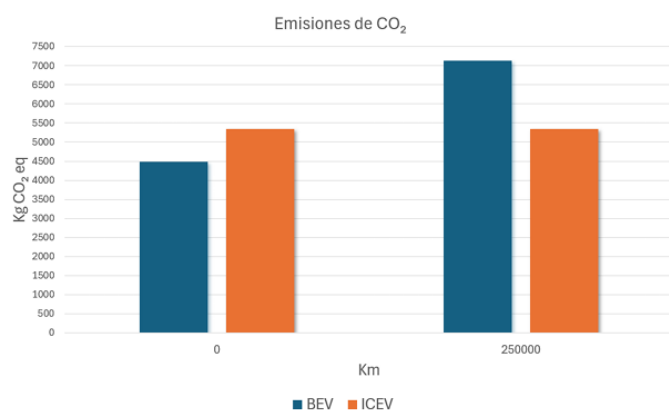
Tabla 4: Características de vehículos eléctricos vs características de vehículos de combustión interna.

Tipo de vehículo	Usabilidad	Impacto Ambiental	Costos
Vehículos de Combustión Interna	La red de estaciones de servicio está ampliamente disponible, lo que garantiza una alta autonomía operativa para vehículos de combustión. Sin embargo, generan niveles elevados de ruido debido a procesos mecánicos y de combustión.	Los vehículos de combustión interna generan altos impactos ambientales por emisiones de CO ₂ y partículas contaminantes; no obstante, según la matriz energética del país, sus emisiones pueden ser comparables a las de vehículos eléctricos.	Presentan un menor costo inicial de adquisición, pero mayores gastos en mantenimiento por la sustitución de autopartes y costos operativos asociados al consumo de combustible.
Vehículos Eléctricos	Los vehículos eléctricos ofrecen una conducción silenciosa y confortable; sin embargo, su autonomía limitada exige recargas frecuentes, lo que los hace dependientes de la infraestructura de carga disponible.	Durante su uso, los vehículos eléctricos no emiten CO ₂ ; sin embargo, deben considerarse las emisiones asociadas a su fabricación, la generación eléctrica para la recarga y su disposición final	Los vehículos eléctricos tienen un costo de adquisición más alto que los de combustión interna, pero ofrecen menores gastos en mantenimiento y recarga, aunque implican costos por el consumo de energía eléctrica.

Consumo Energético y Matriz Energética

Uno de los elementos determinantes en la evaluación del desempeño ambiental de los vehículos eléctricos (VE) radica en la composición de la matriz energética del sistema eléctrico al que están conectados. En contextos geográficos donde la generación eléctrica depende en gran medida de fuentes no renovables —como el carbón, el gas natural o el petróleo— las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la carga de baterías pueden alcanzar niveles comparables a los generados por vehículos con motor de combustión interna (VCI). Según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022), en países con una intensidad de carbono superior a 500 g CO₂/kWh, la huella de carbono asociada al uso de un VE puede reducirse solo marginalmente respecto a un VCI de última generación. (IEA, 2022). Además, investigaciones recientes han comenzado a demostrar la viabilidad de soluciones como los sistemas Vehicle-to-Grid (V2G), que permiten a los VE no solo consumir sino también inyectar energía a la red eléctrica. Esta bidireccionalidad puede desempeñar un papel clave en la gestión de la demanda energética, estabilización de redes eléctricas inteligentes (smart grids) y mejor aprovechamiento de la energía renovable intermitente (Zhang et al., 2021). Estas innovaciones tecnológicas sitúan a los VE como nodos activos dentro de sistemas energéticos distribuidos, contribuyendo no solo a la descarbonización del transporte, sino también a la eficiencia y resiliencia del sistema energético en su conjunto. (Zhang et al., 2021). Por otro lado, hay que tener en cuenta que la vida útil de la batería de los Vehículos Eléctricos es de 25.000 km donde se completa un escenario donde el vehículo alcanza los 500.000 km, donde los resultados a obtener sería los siguientes

Figura 7: Emisiones de CO₂

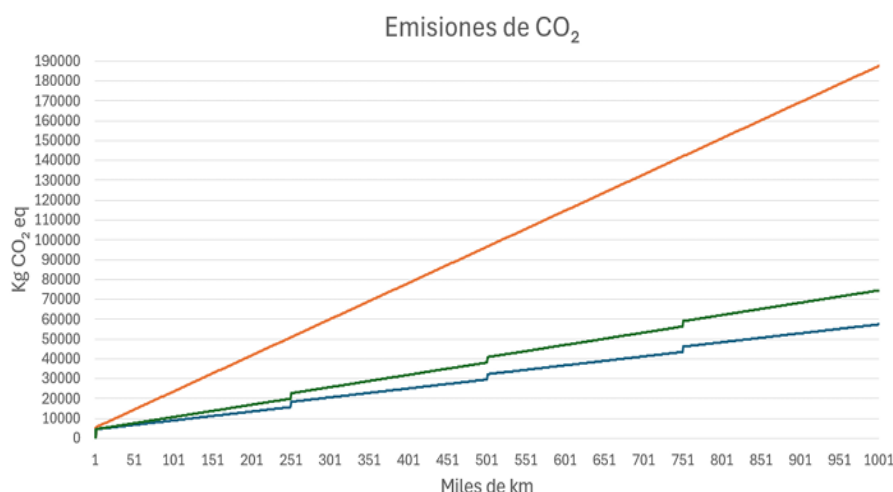


Nota. Se representa la comparativa de emisiones de gases entre vehículos de Combustión Interna frente a los Vehículos Eléctricos.

En el análisis del escenario base correspondiente al año cero, se considera que no es necesario realizar el reemplazo del sistema de almacenamiento energético, siempre que el vehículo eléctrico a batería (BEV) no supere los 250.000 kilómetros de recorrido. No obstante, en una proyección alternativa donde se contempla la sustitución de la batería, el impacto ambiental en términos de emisiones durante la fase de fabricación del BEV se incrementa en un 31,14 % con respecto a un vehículo con motor de combustión interna (ICEV), debido a la alta demanda energética y material asociada a la producción de baterías de

alto voltaje. Este resultado resalta la importancia de considerar la durabilidad de los componentes críticos al evaluar la huella ambiental del ciclo de vida completo de los vehículos eléctricos.

Figura 8: Ciclo de Vida de emisiones de CO₂



Nota. Se aprecia en la siguiente grafica estadística el ciclo de vida nomina que tiene el CO₂, teniendo así en cuenta el daño al ecosistema que se genera.

CONCLUSIÓN

Aunque los vehículos eléctricos (VE) presentan una significativa reducción de emisiones durante su fase operativa, su impacto ambiental total está condicionado por variables como el origen de la energía empleada en su recarga y la eficiencia de los procesos de reciclaje de sus sistemas de almacenamiento electroquímico. Resulta imperativo continuar con el desarrollo de tecnologías de producción más sostenibles y de metodologías avanzadas para la recuperación de materiales críticos, particularmente aquellos utilizados en baterías de ion-litio. La transición energética debe ir acompañada del fortalecimiento de matrices eléctricas basadas en fuentes renovables, como la solar, eólica o hidroeléctrica, que minimicen la huella de carbono asociada a la movilidad eléctrica. En este contexto, las políticas públicas adquieren un rol estratégico en la consolidación de un ecosistema de transporte sustentable. La implementación de incentivos económicos y fiscales para la investigación en tecnologías de baterías de bajo impacto ambiental, la expansión de infraestructura de carga rápida y la regulación responsable de la extracción de minerales como el litio, el cobalto y el níquel, son elementos clave para lograr una movilidad verdaderamente sostenible. En síntesis, la descarbonización del sector transporte mediante la electrificación vehicular exige un enfoque sistémico que contemple todo el ciclo de vida del VE, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. A pesar de su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, es esencial que dicha transición esté acompañada de estrategias integrales de gestión ambiental y energética que garanticen su sostenibilidad a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2022). *Emisiones de gases de efecto invernadero del transporte en Europa*. <https://www.eea.europa.eu>
- Agencia Internacional de Energía. (2022). *Perspectivas mundiales de vehículos eléctricos para 2022: cómo garantizar el suministro para un futuro eléctrico*. [iea.org](https://www.iea.org)
- Andersson, B. A. y Rade, D. (2021). Restricciones materiales en tecnologías energéticas sostenibles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, Artículo 111081. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111081>
- Bhardwaj, B., Bansal, R. C. y Zobia, A. F. (2022). Segunda vida de las baterías: una revisión de soluciones de reutilización prometedoras. *Journal of Energy Storage*, 55. [doi.org](https://doi.org/10.1016/j.est.2022.101081)
- Bloomberg NEF. (2023). *Perspectivas de vehículos eléctricos para 2023*. [bnef.com](https://www.bnef.com)
- Crear cajas para baterías de coches eléctricos. (22 de mayo de 2019). ALTERTECNIA. <https://altertecnica.com/ingenieria-cajas-para-baterias-de-coches-electricos/>
- Departamento de Energía de Estados Unidos. (2023). *Beneficios y consideraciones sobre los vehículos eléctricos*. [energy.gov](https://www.energy.gov)
- García-Olivares, A. (2020). El transporte en un sistema energético 100% renovable. *Energy Conversion and Management*, 218, Artículo 113005. [doi.org](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113005)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2021). *Cambio climático 2021: La base de la ciencia física*. Cambridge University Press. [ipcc.ch](https://www.ipcc.ch)
- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R. y Anderson, P. (2019). Reciclaje de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos. *Nature*, 575(7781), 75–86. [doi.org](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1234-5)
- Holland, S. P., Mansur, E. T., Muller, N. Z. y Yates, A. J. (2019). ¿Existen beneficios ambientales derivados de la conducción de vehículos eléctricos? La importancia de los factores locales. *American Economic Review*, 106(12), 3700–3729. [doi.org](https://doi.org/10.3386/w25488)
- Motor de combustión interna, partes que lo integran. (5 de abril de 2019). *Distribución de Repuestos del Automotor*. <https://www.solverdca.com.ar/motor-de-combustion-interna-partes-que-lo-integran/>
- Partes de un coche eléctrico. (28 de diciembre de 2021). *Tecvolución*. <https://tecvolucion.com/partes-coche-electrico/>
- RACE. (23 de agosto de 2023). *¿Cuáles son las partes del tubo de escape?* <https://www.race.es/partes-tubo-escape>
- Zhang, Y., Wang, M., Li, X. y Liu, Y. (2021). Tecnología de vehículo a red: una revisión de estrategias de control, optimización y desafíos. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, Artículo 110921. [doi.org](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110921)