

19. Reutilización y electrificación de vehículos como camino hacia una movilidad más eficiente



ÁNGEL DE JESÚS MC NAMARA VALDÉS¹

RODRIGO FLÓRENCIO DA SILVA²

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.365.19>

Resumen

El uso de vehículos de combustión interna para el traslado de personas y mercancías trae consigo efectos negativos en el medio ambiente y en el uso de los recursos naturales. Las emisiones que emiten los motores de combustión interna, ya sea que utilicen gasolina o diésel como combustible, causan entre lo más destacable, el efecto invernadero con los gases de efecto invernadero (GEI) como el CO₂ problemas a la salud pública con la emisión de material particulado, los óxidos de nitrógeno y de azufre entre otros gases que son nocivos para la salud humana. Considerando también el uso de recursos para hacerlos funcionar y, en sí, para construir unidades de transporte, ya sean de transporte público o de transporte privado, cada vez la disponibilidad de recursos es menor y su extracción se vuelve más costosa por lo que reutilizar elementos como el chasis, la estructura del vehículo, las ventanas y los materiales del interior sólo cambiando la motorización tienen un efecto positivo en el impacto de los recursos y el costo del mismo vehículo en términos económicos. El objetivo de este trabajo es compilar casos en los que se haya llevado a cabo un cambio en la motorización a un vehículo existente que pase de un motor de combustión interna a un motor eléctrico para seguir prestando servicio, pero de una manera

¹ Doctorante en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad por el Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8640-9741>

² Doctor en Medio Ambiente por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Ticomán, del Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9644-7645>

más eficiente y con menor impacto al ambiente. La metodología que se siguió es una revisión teórica de publicaciones referentes a la conversión de motorización de vehículos seguida de la búsqueda de publicaciones en la web relacionadas con la temática de conversión de vehículos. Los resultados muestran que la conversión de la motorización de los vehículos representa una extensión de vida útil de un vehículo existente, lo que evita la fabricación de un nuevo vehículo.

Palabras clave: *vehículos, motorización, combustión interna, motor eléctrico.*

Introducción

Durante mucho tiempo, el transporte público y privado ha estado fundamentado en el uso de motores de combustión interna, esto debido a un histórico en el desarrollo de esta tecnología que por mucho tiempo ha sido el pilar de la movilidad de las personas y de las mercancías. El sector del transporte es responsable de más del 24% de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía (Filonchyk et al., 2024), un porcentaje que sigue creciendo debido a la demanda de vehículos particulares y de carga en economías emergentes.

Los motores de combustión interna, que han dominado el transporte por más de un siglo, no solo emiten dióxido de carbono CO₂, sino también contaminantes críticos como material particulado (PM), óxidos de nitrógeno NO_x y otros compuestos volátiles, vinculados a 7 millones de muertes prematuras anuales por contaminación del aire (OMS, 2024). Tomando en cuenta toda la cadena de extracción de petróleo, el proceso de refinación, la logística necesaria para hacer llegar los combustibles, y el consumo energético por cada automóvil más la extracción mineral para fabricar nuevos vehículos agrava la degradación de ecosistemas, desde la deforestación por pozos petroleros hasta la sobreexplotación de litio para baterías. Este panorama exige soluciones que equilibren la necesidad de movilidad con la urgencia climática, y la reutilización de vehículos existentes mediante electrificación emerge como una estrategia pragmática.

La electrificación del transporte se ha centrado en la producción de vehículos nuevos, pero este enfoque ignora el costo ambiental de fabricarlos, un automóvil eléctrico requiere hasta un 60% más de energía en su producción que uno convencional, debido a la minería de metales para baterías (Lyu et al., 2022). Desechar flotas completas de vehículos con chasis y carrocerías en buen estado contradice los principios de la economía circular. Estudios de ciclo de vida demuestran que reconvertir un vehículo de combustión interna a eléctrico puede reducir la huella de carbono total en un 40-50% comparado con comprar un vehículo nuevo (Innocenti et al., 2024), ya que se aprovechan materiales existentes y se evita el gasto energético de fundir acero o moldear plásticos.

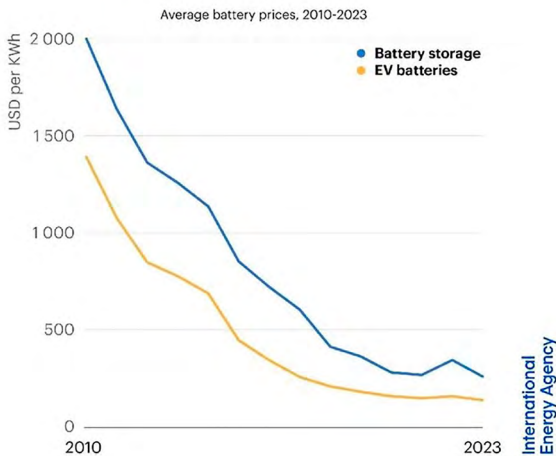
Ampliando el horizonte más allá del impacto ambiental, la electrificación de vehículos usados tiene ventajas económicas tangibles. Para usuarios particulares, convertir un automóvil a eléctrico cuesta entre 5 y 20 mil dólares, dependiendo del modelo y las características que se requieran (Hoeft, 2021) frente a los 30 o hasta 100 mil dólares que puede costar un vehículo eléctrico nuevo (Rapson y Muehlegger, 2023). En el transporte público, ciudades como Bogotá y Lisboa han demostrado que modernizar buses diésel con motores eléctricos reduce costos operativos en un 35% (Taborda et al., 2023; Vargas y Durán, 2024), esto gracias a la disminución de mantenimiento y combustible que proporciona una propulsión eléctrica. Para economías en desarrollo como México y la India esta estrategia es clave, por ejemplo, la conversión masiva de *rickshaws*, vehículos de pequeña capacidad para desplazamientos urbanos, que funcionan con gasolina a eléctricos ha creado 250 mil empleos locales en talleres especializados (Tirpude, 2021). Sin embargo, el acceso a tecnología asequible y marcos regulatorios claros sigue siendo un desafío.

Uno de los principales retos que enfrentan los vehículos eléctricos en general es la existencia de mitos sobre su funcionamiento. A pesar de sus ventajas, la reconversión enfrenta escepticismo, uno de los mitos persistentes es que los vehículos convertidos son menos seguros o eficientes, sin embargo, pruebas en laboratorios europeos como el TÜV Rheinland, han certificado que, con componentes adecuados, su rendimiento iguala al de los vehículos eléctricos originales (Kumar et al., 2025). Otro de los obstáculos presentes es la creencia de que las baterías son costosas, sin embargo,

se ha demostrado que las baterías cada vez disminuyen su costo, para el año 2023, se llegó a una reducción de más del 90% de reducción de sus costos desde el año 2010, tanto baterías para autos y almacenamiento de energía. En la figura 19.1 se muestra una gráfica donde se aprecia la reducción de los costos de las baterías en un periodo del año 2010 al 2023.

Figura 19.1. Promedio de costo de las baterías del 2010 al 2023

In less than 15 years, battery costs have fallen by more than 90%, one of the fastest declines ever seen in clean energy technologies



Fuente: International Energy Agency.

El objetivo de este trabajo es compilar evidencia técnica que demuestre la viabilidad de la reconversión vehicular como herramienta que permita transitar hacia la descarbonización del transporte, esto analizando casos de autos particulares alrededor del mundo y también aplicados al transporte público como en México que funcionen como un referente para la economía circular en el uso de vehículos.

Desarrollo

Reconversión vehicular fundamentos técnicos

La reconversión vehicular, también conocida como *retrofit* eléctrico, es el proceso de transformar un vehículo diseñado originalmente con un motor de combustión interna en uno impulsado por un sistema de propulsión eléctrica (Ayaz y Khan, 2025). Este proceso implica reemplazar componentes clave de un vehículo como, obviamente el motor y todos los elementos que requiere este para funcionar, puede ser que el motor funcione con gasolina o con Diésel, independientemente de eso, elementos como el sistema de escape, el tanque de combustible y la transmisión deben ser remplazados por un motor eléctrico, un paquete de baterías, un controlador electrónico y un sistema de carga para su correcto funcionamiento. A diferencia de la fabricación de vehículos eléctricos nuevos, la reconversión aprovecha la estructura existente del vehículo, como el chasis, la carrocería y los sistemas de suspensión, lo que reduce significativamente el consumo de materiales y energía asociados con la producción de un automóvil desde cero (Ghodrati, 2024).

De acuerdo con Oladosu et al. (2024), la reconversión requiere adaptar el espacio disponible para alojar las baterías, que suelen colocarse en el compartimiento del motor o en el piso del vehículo, y garantizar que el sistema eléctrico sea compatible con los componentes originales, como los frenos y la dirección. Para el correcto funcionamiento de la conversión eléctrica es necesario instalar un sistema de gestión de baterías para optimizar su rendimiento y seguridad, este proceso no solo es aplicable a automóviles particulares, sino también a vehículos comerciales, autobuses e incluso maquinaria industrial, demostrando su versatilidad como solución de movilidad sustentable.

Uno de los principales motivos para impulsar la reconversión vehicular es su impacto positivo en el medio ambiente (Lipu et al., 2021). Dado que los vehículos de combustión interna son una de las mayores fuentes de emisiones contaminantes al ambiente, al convertirlos en eléctricos, se eliminan por completo las emisiones directas durante su operación, con-

tribuyendo a mejorar la calidad del aire en zonas urbanas y reduciendo la huella de carbono del transporte, además de traer una mayor eficiencia energética lo que también tiene un impacto en la reducción de costos por combustible. La reconversión promueve la economía circular al extender la vida útil de los vehículos existentes, evitando la necesidad de fabricar unidades nuevas y, por lo tanto, reduciendo la demanda de materias primas (Tiwari, 2023).

A pesar de sus múltiples ventajas, la reconversión vehicular enfrenta varios desafíos que deben superarse para su adopción masiva. Uno de los principales obstáculos es la falta de regulaciones claras en muchos países, lo que dificulta la homologación de vehículos convertidos. En algunas regiones, los requisitos de seguridad son tan estrictos que hacen inviable legalmente la circulación de estos vehículos, a pesar de ser más limpios que sus versiones originales (Gong, 2021).

Otro desafío es la disponibilidad y el costo de las baterías, estas representan hasta el 50% del precio total de una conversión. Aunque los precios de las baterías de litio han disminuido en los últimos años, tecnologías más accesibles, como las de ferrofosfato, aún no están ampliamente disponibles en todos los mercados (Ntombela, 2023). La autonomía de los vehículos reconvertidos suele ser menor que la de los eléctricos nuevos debido a limitaciones de espacio para instalar baterías de mayor capacidad. Sin embargo, avances en densidades energéticas y sistemas de carga rápida están ayudando a mitigar este problema (Dudziak, 2022).

El futuro de la reconversión vehicular es prometedor, especialmente en el contexto de la transición energética global. A medida que más países establecen metas para prohibir los vehículos de combustión interna, la reconversión se posiciona como una solución pragmática para acelerar la descarbonización sin generar residuos masivos de automóviles usados. Empresas especializadas, como Arc Motor Company en Estados Unidos, están demostrando que es posible convertir clásicos y vehículos comerciales en versiones eléctricas de alto rendimiento.

Para impulsar esta tendencia, se necesitan políticas públicas que incentiven la reconversión, como subsidios, exenciones fiscales y programas de capacitación para técnicos. La colaboración entre gobiernos, fabricantes de componentes y universidades también es clave para estandarizar

procesos y reducir costos. En el mediano plazo, la reconversión podría complementar la producción de vehículos eléctricos nuevos, creando un ecosistema de movilidad más sostenible y accesible para todos.

Eficiencia energética de un motor de combustión interna y uno eléctrico

La eficiencia de un motor se define como la relación entre la energía útil que genera movimiento y la energía total que consume ya sea combustible o electricidad. En este aspecto, los motores eléctricos superan ampliamente a los de combustión interna, un motor convencional, ya sea de gasolina o diésel, aprovecha alrededor del 30% de la energía del combustible para mover el vehículo, mientras que el resto se pierde como calor, alrededor del 65% y fricción mecánica cerca de un 5%. Esto se debe a limitaciones termodinámicas inherentes al ciclo Otto o Diésel, donde gran parte de la energía se disipa en la combustión incompleta, el calentamiento del bloque motor y los gases de escape (Joshi, 2022).

Otro de los elementos fundamentales que propician la pérdida de energía en un motor de combustión interna es la necesidad de transmitir el movimiento hacia las ruedas, la transmisión mecánica, el diferencial y los ejes propician que se pierda alrededor de 10% de energía por fricción en ese componente.

Por otro lado, un motor eléctrico convierte entre un 85 y 95% de la energía de la batería en movimiento, gracias a su diseño simplificado, no requiere combustión, tiene menos piezas móviles, sin cigüeñal, válvulas o sistemas de refrigeración complejos, y opera con mínimas pérdidas por fricción. También, los vehículos eléctricos, con los sistemas necesarios, son capaces de recuperar energía durante el “frenado regenerativo”, incrementando su eficiencia real hasta un 15% o un 25% adicional en entornos urbanos. Esta diferencia radical explica por qué un vehículo eléctrico consume aproximadamente 3-4 veces menos energía por kilómetro que un vehículo de combustión equivalente (Cao et al., 2021).

Las ventajas de un vehículo con motorización eléctrica son bastantes que eliminan las pérdidas del motor de combustión interna. Principal-

mente, no hay combustión, la energía eléctrica pasa a ser directamente aprovechada como movimiento mediante la inducción de un campo electromagnético. La eficiencia está presente en todo momento, los componentes electrónicos permiten que, ya sea en altas o bajas velocidades, la eficiencia se mantenga en un rango de alrededor de 90%. El frenado regenerativo es otra de las ventajas que permite recuperar energía mediante el aprovechamiento de la energía cinética, cuando el motor deja de ser utilizado para el impulso del vehículo, este se convierte ahora en un generador que inyecta energía eléctrica a la batería.

La eficiencia de los vehículos eléctricos transforma radicalmente el consumo de recursos energéticos. De acuerdo con Zhao et al. (2021), un vehículo eléctrico alimentado con electricidad renovable emite un 70% menos de CO₂ por kilómetro que un vehículo de combustión interna, destacando su potencial para descarbonizar el transporte. Esta ventaja se fundamenta en el menor requerimiento energético, mientras un motor de combustión consume 8-10 kWh de energía química, equivalente a 5-7 litros de gasolina para recorrer 100 km, un vehículo eléctrico solo necesita 15-20 kWh de electricidad, comparable a 2-3 litros de gasolina. Esta diferencia refleja la eficiencia intrínseca de los motores eléctricos, que evitan pérdidas por combustión y aprovechan mejor la energía disponible. Posteriormente se toma un caso que expone esto.

No obstante, el impacto ambiental total de los vehículos eléctricos depende críticamente de la fuente de electricidad. En redes con alta participación de carbón, sus ventajas se moderan, pero incluso en estos casos los eléctricos son 50% más eficientes que los de combustión. También, la flexibilidad de los vehículos eléctricos para integrarse con energías renovables como la solar, y la eólica amplía su potencial sostenible a largo plazo. En contraste, los vehículos de combustión están limitados por la disponibilidad de combustibles fósiles y los crecientes costos ambientales de su extracción y refinamiento. Así, la electrificación no solo optimiza el uso de recursos, sino que también reduce la presión sobre ecosistemas vulnerables vinculados a la explotación petrolera (Verma et al., 2022).

Es importante señalar que la brecha de eficiencia entre motores continuará ampliándose, mientras los motores de combustión interna con tecnologías como el encendido por compresión homogénea podrían alcanzar

eficiencias del 50%, su complejidad y alto costo limitan su adopción masiva; en contraste, los motores eléctricos siguen evolucionando con diseños más avanzados como los síncronos de imanes permanentes y semiconductores de banda ancha, que reducirán sus pérdidas energéticas en otro 10%. Esta divergencia tecnológica responde a principios físicos fundamentales, los motores eléctricos ya operan cerca de su límite teórico de eficiencia del 98%, mientras que los motores de combustión, debido a las inherentes pérdidas por combustión y fricción, difícilmente superarán el 40%, consolidando la electrificación no solo como una solución ambientalmente preferible, sino como la opción técnicamente más viable a largo plazo (Verma et al., 2022).

La superioridad técnica y ambiental de los motores eléctricos sobre los de combustión interna resulta evidente al analizar su eficiencia energética. La pérdida de energía por calor, y fricción en un motor de combustión interna vuelve atractiva la idea de adoptar un auto que funciona con motores eléctricos, los cuales utilizan la energía de una manera más eficiente y por tener un menor número de piezas móviles reducen su necesidad de mantenimiento. Esta condición brinda a un auto eléctrico una ventaja que se traduce en un consumo de 3 a 4 veces menor de energía por kilómetro, reduciendo tanto costos operativos como emisiones, especialmente cuando la electricidad proviene de fuentes renovables. Esta brecha, lejos de cerrarse, se ampliará, reforzando la electrificación como el camino inevitable hacia una movilidad verdaderamente eficiente y sustentable. Más allá de las consideraciones ambientales, la transición responde a un imperativo técnico, los motores eléctricos no solo optimizan recursos y protegen ecosistemas, sino que representan el máximo potencial de eficiencia que la física permite, algo que la combustión interna nunca podrá igualar (Farzaneh y Jung, 2023).

Conversión de autos de combustión a eléctricos

Como ya se mencionó previamente, la conversión de los vehículos de combustión a vehículos eléctricos es una estrategia atractiva para la economía circular de un vehículo. En el Instituto Politécnico Nacional se desarrolló

un proyecto en donde la búsqueda de tener un vehículo que emita menos contaminantes y que, además pueda circular todos los días por la Ciudad de México llevó a investigadores de la Escuela Superior de Computo (ESCOM) a suprimir las partes mecánicas de un Ford Focus 2002 en el cual se instalaron los elementos necesarios para como las baterías y el motor eléctrico para convertirlo. El vehículo además cuenta con un cargador inteligente, el cual suministra la energía eléctrica necesaria para que se pueda cargar y que deja de hacerlo una vez que el auto está totalmente cargado. Otro de los argumentos de los participantes del proyecto es brindar a la población que no se encuentra en la posibilidad de adquirir un vehículo eléctrico la opción de convertir su propio auto y de esta manera contribuir con la reducción de emisiones contaminantes.

De acuerdo con Marín (2019), los intereses económicos han sido una de las principales barreras para masificar los autos eléctricos en el mercado, a pesar de que llevan existiendo más de 50 años. El autor propone una metodología de conversión, la cual está sustentada en un modelo de requerimientos de potencia, la cual involucra variables como los grados de la pendiente, la rodadura del vehículo, la aerodinámica y la aceleración. Las pruebas de conversión realizadas en un Suzuki Swift demostraron que primeramente con el motor de combustión el vehículo presenta altos niveles de contaminación que sobre pasan los límites internacionales, con la conversión a eléctrico, estos niveles desaparecen al no emitir gases. También la conversión trajo una reducción de la masa total del vehículo en un 30%, lo que disminuye la demanda energética. El vehículo previamente para recorrer 100 kilómetros necesitaba de 6.5 litros de combustible equivalentes a 7.5 dólares, ahora con la conversión a eléctrico, recorrer esos 100 kilómetros lo puede hacer usando 4 000 Wh, equivalentes a 0.68 dólares, lo que representa un ahorro económico y de consumo energético, sin considerar que, para el vehículo, no se requirió fabricar un chasis nuevo ni tampoco partes de interior y la carrocería. En la figura 19.2 expone una imagen tomada del artículo de Marín donde se muestra el vehículo que fue convertido.

Figura 19.2. Vehículo base de la conversión



Fuente: Marín (2019).

Considerando aspectos técnicos de la conversión, de acuerdo con Cuadrado Rincón et al. (2023), quienes realizaron un diseño de conversión de un Renault Duster, un vehículo utilitario (SUV) mostrado en la figura 19.3, el diseño de los componentes de acople con la transmisión del vehículo los llevo a determinar que los que mejor cumplen la función son los helicoidales para hacer una reducción de velocidad de 330 Revoluciones Por Minuto (RPM) a 165 RPM. Dando pie a que se debe hacer un ajuste de los elementos de torsión para que no se tengan fallas para el momento en el que el motor eléctrico sea el encargado de enviar la potencia a las ruedas.

Figura 19.3. Renault Duster vehículo SUV



Fuente: <https://www.renault.com.mx>

Hablando ahora sobre los vehículos de transporte público, en la Ciudad de México, la Red de Transporte de Pasajeros en el año 2023 inició con la conversión de su primera unidad de transporte público, la cual representará para la organización un ahorro de alrededor de 50 mil pesos en combustible y gastos de mantenimiento. El proyecto también tiene la finalidad de estudiar el comportamiento de las unidades con y sin pasajeros para determinar variables ambientales y económicas. El director de la RTP mencionó que, para llevarse a cabo se requirió la colaboración con universidades públicas y privadas. El vehículo reconvertido es un Dina Linner, se consideró este por la estrecha relación con la empresa mexicana y por las características de la carrocería y su chasis.

Internacionalmente hablando, en Estados Unidos, una empresa llamada Arc Motor Company se dedica a la conversión de vehículos clásicos de combustión a eléctricos. El concepto surge como una combinación entre la herencia que han dejado los vehículos clásicos americanos y la innovación tecnológica para la propulsión de autos. Literalmente, ellos colocan en su página web, “nosotros electrificamos autos clásicos icónicos”. En Arc Motor Company, creen que los autos clásicos merecen una segunda vida: una más limpia, potente y preparada para el futuro. Por eso se especializan en conversiones *premium* a eléctricos, transformando autos clásicos en máquinas de alto rendimiento y cero emisiones, sin perder su esencia.

Lujo electrificado. Hacemos que la transición a lo eléctrico sea perfectamente sencilla. Nuestro servicio integral se encarga de todo: desde la recogida de tu vehículo hasta la entrega de tu auto recién electrificado. Nos ocupamos de la logística, seguros y transporte, garantizando una experiencia sin complicaciones. Cubrimos cada detalle en todo el proceso. Relájate y déjanos encargarnos de los preparativos mientras tú te alistas para conducir hacia el futuro. Nuestro equipo está formado por ingenieros, mecánicos, diseñadores y otros profesionales con experiencia en empresas de prestigio como Toyota y Rolls Royce. Trabajamos contigo en cada etapa del proceso para garantizar que tu conversión no solo cumpla, sino que supere tus expectativas. (Arc Motor Company, 2026)

Figura 19.4. Auto clásico siendo convertido en eléctrico



Fuente: <https://arcmotors.com>

En la figura 19.4 se muestra una fotografía de las instalaciones del taller de conversiones y su personal.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos (2025) menciona que la conversión de autos eléctricos, aunque no es común, es posible convertir un vehículo convencional en un vehículo completamente eléctrico. Estas conversiones ofrecen alternativas que van más allá de las disponibles directamente de los fabricantes de equipo original. Instaladores certificados pueden convertir económicamente vehículos pesados para operar exclusivamente con electricidad o mejorar la eficiencia de diseños vehiculares convencionales. En su página de conversiones mencionan que:

Una conversión *aftermarket* consiste en la modificación de un vehículo o motor para operar con un combustible o fuente de energía diferente a la original. Los vehículos y motores convencionales fabricados por proveedores de equipo original pueden convertirse para funcionar con combustibles como propano, gas natural o electricidad.

Aunque muchos fabricantes de equipo original ya ofrecen vehículos con combustibles alternativos y tecnologías avanzadas, los modelos, combustibles y tecnologías disponibles varían considerablemente. Estos vehículos se consideran conversiones cuando sus motores de gasolina son modificados para usar combustibles alternativos. Igualmente, los vehículos ya en circulación también pueden convertirse, con opciones que varían según modelo, tipo de combustible y tecnología.

Todas las conversiones de vehículos y motores deben cumplir con:

- Los estándares de emisiones y seguridad de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).
- Las regulaciones de la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras (NHTSA).
- Los requisitos de agencias estatales como la Junta de Recursos del Aire de California (CARB).

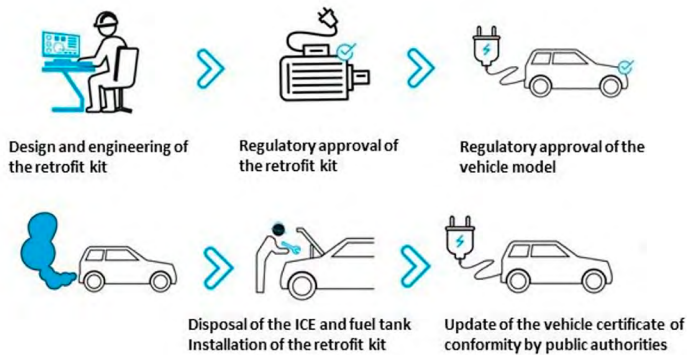
En la sección de electricidad mencionan lo siguiente “la electricidad puede alimentar vehículos eléctricos, que incluyen los totalmente eléctricos o de batería y los híbridos enchufables, los cuales cargan sus baterías directamente de la red eléctrica o fuentes externas”. A diferencia de estos, los híbridos convencionales usan combustibles líquidos como gasolina, pero aprovechan pequeñas baterías para recuperar energía del frenado mejorando su eficiencia. Los vehículos híbridos enchufables, considerados autos eléctricos por su capacidad de usar electricidad externa, también pueden funcionar con combustible líquido como los vehículos híbridos cuando es necesario, combinando ambas tecnologías.

Actualmente, usar electricidad como fuente de energía para transporte es más rentable que utilizar gasolina, aunque los vehículos eléctricos suelen tener un costo inicial más alto. Sin embargo, este gasto puede compensarse con ahorros en energía, el crédito fiscal federal y los incentivos estatales. La electricidad para cargar los vehículos resulta especialmente económica si los conductores aprovechan tarifas residenciales en horas de bajo consumo u otros beneficios ofrecidos por las compañías eléctricas. El costo depende del precio de la electricidad, que varía según la región, el tipo de generación, el horario de uso y el punto de acceso. No obstante, gracias a

la eficiencia energética de los trenes motrices de los autos eléctricos, se generan ahorros adicionales frente a los vehículos convencionales, incluso cuando las tarifas eléctricas son relativamente altas, por ejemplo, en horas pico o en estaciones de carga rápida pública.

La Unión Europea menciona que, la conversión consiste en reemplazar el motor de combustión por uno eléctrico, lo que extiende la vida útil del vehículo: se conservan los principales elementos estructurales, pero todo el sistema de tracción puede sustituirse por uno eléctrico. Esto evita el costoso reciclaje completo del automóvil, reduciendo así su impacto ambiental. Los aspectos económicos también son clave, expertos de Ennovation Technology estiman que convertir un vehículo de combustión a eléctrico cuesta aproximadamente un 30% del valor de comprar un camión pesado eléctrico nuevo. Además, muchos modelos en el mercado ya han dejado de fabricarse, por lo que cambiar su sistema de propulsión suele ser la única opción para seguir utilizándolos. En la figura 19.5 se muestra una imagen del proceso de conversión de un vehículo de combustión a uno eléctrico utilizado en Francia.

Figura 19.5. Proceso simplificado de la aprobación regulatoria en Francia



Fuente: <https://www.transportenvironment.org>

Considerando los elementos antes mencionados, México puede adoptar las mejores prácticas de conversión vehicular de Estados Unidos y la Unión Europea, comenzando por establecer un marco regulatorio robusto. En la Unión Europea, la regulación 2023 estandarizó los requisitos téc-

nicos y de seguridad para homologar conversiones, mientras que, en Estados Unidos, la EPA y la NHTSA exigen cumplir normas de emisiones y protección contra descargas eléctricas con la Estándar 305. México carece actualmente de una normativa clara, lo que frena la inversión en talleres especializados. Para remediarlo, el país podría establecer junto con las dependencias competentes criterios para certificar instaladores, protocolos de pruebas para baterías y motores, y un proceso simplificado de “re-registro” vehicular, para que pueda ser acreedor a los beneficios fiscales. Un modelo inspirador es California, donde los kits de conversión aprobados por la CARB pueden legalizarse en 30 días. Considerando la importancia del tema, se debería formar un consejo técnico con ingenieros mexicanos para adaptar estos estándares al mercado local, priorizando seguridad y accesibilidad, esta base legal incentivaría a empresas y talleres a ofrecer servicios de calidad, evitando conversiones informales que ponen en riesgo a usuarios.

Otro aprendizaje clave es la implementación de incentivos económicos, que en Estados Unidos, y la Unión Europea han sido clave para masificar el retrofit. Francia subsidia hasta el 40% del costo de conversión, alrededor de €5 000, mientras que California ofrece descuentos de 1 500 a 4 000 dólares a través del programa Clean Vehicle Rebate.

Una de las acciones referentes que está llevando a cabo México es el proyecto Olinia, el cual busca que en México se construya el primer auto eléctrico desde cero, incluyendo el diseño y la manufactura, el proyecto estará enfocado en atender las necesidades de movilidad de barrio, sin embargo, en el tema de la conversión de vehículos aún es necesario un marco sólido que permita considerar esta opción como una alternativa para quienes no puede comprar un vehículo eléctrico nuevo.

Conclusión

La reconversión de vehículos de combustión a eléctricos emerge como una solución estratégica para descarbonizar el transporte, combatiendo las emisiones globales vinculadas a este sector. La evidencia técnica demuestra que esta práctica no solo reduce emisiones directas a cero durante la operación,

sino que también minimiza el impacto ambiental asociado a la fabricación de autos nuevos, aprovechando la mayor eficiencia energética frente a los motores de combustión interna. Casos como el Ford Focus convertido por el IPN en México o los proyectos de Arc Motor Company en Estados Unidos revelan beneficios tangibles como ahorros en costos operativos, autonomías urbanas suficientes, y la preservación de vehículos icónicos bajo principios de economía circular.

Sin embargo, su escalamiento enfrenta desafíos críticos, la falta de marcos regulatorios claros en México frena la homologación segura, mientras que el acceso a baterías asequibles, aunque su costo ha caído un 90% desde 2010, aún representa el 50% del gasto total. Ejemplos como los subsidios franceses o los estándares EPA/NHTSA, destacan la necesidad de políticas públicas integrales: incentivos fiscales, capacitación técnica, y normativas ágiles como las de California.

El transporte público y las flotillas urbanas son oportunidades inmediatas, ejemplos como RTP en Ciudad de México ya prueba esta transición con ahorros por unidad, replicando modelos exitosos como los buses de Lisboa o los *rickshaws* eléctricos de la India. La electrificación de vehículos existentes no es solo una alternativa ambiental, sino una herramienta de justicia social que democratiza la movilidad sustentable. Al adoptar las mejores prácticas globales y adaptarlas a su contexto, México contribuir con estrategias como la de la conversión de vehículos para alcanzar los objetivos globales de la Agenda 2030. El futuro del transporte no está solo en lo nuevo, sino en reinventar lo que ya existe.

Referencias

- Ayaz, M. A. y Khan, I. (2025, febrero). Optimizing retrofitting of internal combustion engine vehicles (ICEV) for electric mobility in low-income regions. En *2025 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/tpec63981.2025.10906817>
- Cao, Z., Mahmoudi, A., Kahourzade, S. y Soong, W. L. (2021, septiembre). An overview of electric motors for electric vehicles. En *2021 31st Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/aupec52110.2021.9597739>

- Cuadrado Rincón, A. M., Villar Tapias, J. S. D. y Rincón Díaz, S. A. (2023). *Diseño para la conversión de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos: Renault Duster*.
- Dudziak, A., Drożdziel, P., Stoma, M. y Caban, J. (2022). Market electrification for BEV and PHEV in relation to the level of vehicle autonomy. *Energies*, 15(9), 3120. <https://doi.org/10.3390/en15093120>
- Farzaneh, F. y Jung, S. (2023). Lifecycle carbon footprint comparison between internal combustion engine versus electric transit vehicle: A case study in the US. *Journal of Cleaner Production*, 390, 136111. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136111>
- Filonchik, M., Peterson, M. P., Zhang, L., Hurynovich, V. y He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. *Science of the Total Environment*, 173359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359>
- Ghodrati, B. (2024). *Circular economy: Retrofitting fossil fuel passenger vehicles to El-hybrid*.
- Gong, C., Liu, J., Han, Y., Hu, Y. y Zeng, R. (2021). Safety of electric vehicles in crash conditions: A review of hazards to occupants, regulatory activities, and technical support. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 8(3), 3870-3883. <https://doi.org/10.1109/tte.2021.3136126>
- Hoeft, F. (2021). Internal combustion engine to electric vehicle retrofitting: Potential customer's needs, public perception and business model implications. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100330>
- Innocenti, E., Berzi, L., Del Pero, F. y Delogu, M. (2024). Life cycle greenhouse gas emissions of retrofit electrification: Assessment for a real case study. *Results in Engineering*, 23, 102454. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102454>
- Joshi, A. (2022). Review of vehicle engine efficiency and emissions. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, 4(540), 1704-1733. <https://doi.org/10.4271/2022-01-0540>
- Kumar, H., Bharat, Shukla, A. y Kulkarni, A. R. (2025). Retrofitting of an IC engine vehicle to electric vehicle with cost & performance analysis. En A. Pal, V. Gautam, Q. Murtaza, P. Kumar y R. Sahu (Eds.), *Mechanical Engineering for Sustainable Development: ISME-2024*, 49, 174. <https://doi.org/10.21741/9781644903438-18>
- Lipu, M. S. H., Faisal, M., Ansari, S., Hannan, M. A., Karim, T. F., Ayob, A., ... y Saad, M. H. M. (2021). Review of electric vehicle converter configurations, control schemes and optimizations: Challenges and suggestions. *Electronics*, 10(4), 477. <https://doi.org/10.3390/electronics10040477>
- Lyu, C., Lu, D., Xiong, C., Hu, R., Jin, Y., Wang, J., ... y Lian, L. (2022). Toward a gliding hybrid aerial underwater vehicle: Design, fabrication, and experiments. *Journal of Field Robotics*, 39(5), 543-556. <https://doi.org/10.1002/rob.22063>
- Marín, E. A. S., Londoño, J. F. A. y Piedrahita, C. A. R. (2019). Metodología para la conversión de un vehículo térmico a un vehículo eléctrico. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 16(1), 88-100. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5064>
- Ntombela, M., Musasa, K. y Moloi, K. (2023). A comprehensive review for battery elec-

- tric vehicles (BEV) drive circuits technology, operations, and challenges. *World Electric Vehicle Journal*, 14(7), 195. <https://doi.org/10.3390/wevj14070195>
- Oladosu, T. L., Pasupuleti, J., Kiong, T. S., Koh, S. P. J. y Yusuf, T. (2024). Energy management strategies, control systems, and artificial intelligence-based algorithms development for hydrogen fuel cell-powered vehicles: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 61, 1380-1404. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.284>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024, 24 de octubre). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Rapson, D. S. y Muehlegger, E. (2023). The economics of electric vehicles. *Review of Environmental Economics and Policy*, 17(2), 274-294. <https://doi.org/10.1086/725484>
- Taborda, S., Henriques, F., Carvalho, G., Magalhães, L. y Banza, M. (2023). People-centred design methods in a local decision-making process: Masterplan for Lisbon's multimodal mobility hubs. *Transportation Research Procedia*, 72, 900-907. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.500>
- Tirpude, S., Bharadwaj, A. y Holmukhe, R. M. (2021). Retrofitting of a ultracapacitor/battery hybrid system to an electric-rickshaw for use in India: A case study. En *2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)* (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/gcat52182.2021.9587634>
- Tiwari, N., Verma, P., Kumar, S., Kumar, S., Dutt, H., Ahmad, S. y Chauhan, S. S. (2023). Converting gasoline vehicle into an electric vehicle (EV): A review. *Materials today: Proceedings*, 79, 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.161>
- Vargas Romero, D. A. y Durán Grados, C. V. (2024). Ultrafine particles on electric, gas, and diesel buses in the mass transit buses of Bogotá, Colombia. *Transportation Research Record*, 2678(8), 46-56. <https://doi.org/10.1177/03611981231213081>
- Verma, S., Dwivedi, G. y Verma, P. (2022). Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: A review. *Materials Today: Proceedings*, 49, 217-222. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.666>
- Zhao, J., Xi, X. I., Na, Q. I., Wang, S., Kadry, S. N. y Kumar, P. M. (2021). The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106506. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106506>