

**Políticas públicas y tecnologías pilares en vehículos eléctricos:
lecciones internacionales para México****Public Policies and Pillar Technologies in Electric Vehicle:
International Lessons for Mexico**Adriana Martínez Martínez¹ y Paula C. Isiordia-Lachica²

RESUMEN

Se examina la relación entre las políticas públicas orientadas a la adopción de vehículos eléctricos y la evolución de sus tecnologías clave, particularmente baterías e infraestructura de carga, para identificar lecciones relevantes para México. Metodológicamente, se realizó una revisión narrativa de literatura científica y gris publicada entre 2008 y 2024, que permitió desarrollar un análisis comparativo de experiencias internacionales. Los resultados muestran que la expansión de los vehículos eléctricos ha dependido no solo del progreso tecnológico, sino de su articulación con incentivos fiscales y financieros, inversión en infraestructura, regulación, capacidades de investigación y colaboración público-privada. Entre las limitaciones del estudio destaca que el enfoque cualitativo no permite estimar efectos causales ni medir el peso relativo de cada instrumento de política. Se concluye que la adaptación contextualizada de estrategias internacionales puede fortalecer la adopción de vehículos eléctricos en México y aportar elementos para el diseño de políticas públicas más articuladas.

Palabras clave: 1. electromovilidad, 2. energía eléctrica, 3. infraestructura de transportes, 4. política de desarrollo, 5. transferencia de tecnología.

ABSTRACT

The article examines the relationship between public policies aimed at promoting the adoption of electric vehicles and the evolution of their key technologies, particularly batteries and charging infrastructure, to identify relevant lessons for Mexico. Methodologically, a narrative review of scientific and grey literature published between 2008 and 2024 was conducted, allowing for a comparative analysis of international experiences. The results show that the expansion of electric vehicles has depended not only on technological progress but also on its integration with fiscal and financial incentives, infrastructure investment, regulation, research capabilities, and public-private partnerships. Among the study's limitations is the fact that the qualitative approach does not allow for estimating causal effects or measuring the relative weight of each policy instrument. The study concludes that the contextualized adaptation of international strategies can strengthen the adoption of electric vehicles in Mexico and contribute to the design of more coordinated public policies.

Keywords: 1. electromobility, 2. electric energy, 3. transport infrastructure, 4. development policy, 5. technology transfer.

Recepción: 4 de agosto de 2024

Aceptación: 15 de enero de 2025

Publicación web: 30 de marzo de 2026

¹ (Autora de correspondencia) Universidad Nacional Autónoma de México (<https://ror.org/01tmp8f25>), adriana.martinez.wurtz@unam.mx, <https://orcid.org/0000-0003-0639-4007>

² Universidad de Guanajuato (<https://ror.org/058cjye32>), pc.isiordia@ugto.mx, <https://orcid.org/0000-0001-6403-3264>



INTRODUCCIÓN³

Desde la década de 2010 ha existido una creciente preocupación sobre el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De acuerdo con Jaramillo *et al.* (2022), el transporte fue responsable de aproximadamente 23 por ciento de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía en 2019, y los vehículos de carretera concentraron cerca de 70 por ciento de las emisiones directas del sector. Esta elevada contribución ha impulsado un renovado interés en la electrificación del transporte como alternativa tecnológica para reducir emisiones.

En este contexto, la producción y adopción de vehículos eléctricos (en adelante VE) ha emergido como una estrategia central para enfrentar los desafíos ambientales y energéticos del siglo XXI (Leurent y Windisch, 2011). Algunos autores sostienen que los VE alimentados por energías renovables representan la solución tecnológica más prometedora (Santamarta, 2009). Sin embargo, otros han señalado que la adopción del VE responde a razones geopolíticas, económicas y comerciales, más que a ecológicas (Freysenet, 2011). En cualquier caso, tanto las políticas públicas como las innovaciones tecnológicas están desempeñando un papel importante en la transformación de la industria automotriz.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la importancia de los vehículos eléctricos se refleja en su acelerada expansión a nivel mundial. En 2024, las ventas globales de vehículos eléctricos (VE) superaron los 17 millones de unidades, lo que representó más del 20 por ciento del total de vehículos ligeros vendidos. Las tendencias del primer trimestre de 2025 muestran un incremento interanual cercano al 35 por ciento, con más de 4 millones de unidades comercializadas, por lo que ese año se proyectó que superarían los 20 millones de VE vendidos, alcanzando una participación de mercado superior al 25 por ciento. China continúa liderando este proceso, con ventas que rebasaron los 11 millones en 2024, que podrían acercarse a los 14 millones en 2025, y bajo el escenario de políticas vigentes, la IEA estima que hacia 2030 los VE podrían representar alrededor del 40 por ciento de las ventas globales de automóviles ligeros, consolidándose como un componente central de las estrategias internacionales de descarbonización (IEA, 2025).

Este crecimiento ha sido impulsado, en gran medida, por marcos regulatorios robustos en las principales economías, como el paquete Fit for 55 (European Commission, 2021) en la Unión Europea y los incentivos establecidos por la Inflation Reduction Act de 2022 (Internal Revenue Service, 2023) en Estados Unidos, los cuales continúan fortaleciendo la demanda de vehículos eléctricos y ampliando la infraestructura de carga. Estas políticas han contribuido a crear mercados más dinámicos, certidumbre regulatoria e incentivos para que la industria acelere la transición hacia tecnologías bajas en emisiones.

³ La primera autora agradece al Programa de Apoyos para la Superación del Personal Académico (PASPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México por la beca de estancia sabática otorgada para la realización del proyecto «Electromovilidad: una disrupción para la industria automotriz» durante el período de agosto de 2023 a julio de 2024.

En México, la producción de vehículos eléctricos ha mostrado un crecimiento sostenido como resultado de la expansión de inversiones automotrices orientadas al mercado norteamericano. De acuerdo con reportes industriales especializados, la manufactura nacional de vehículos eléctricos alcanzó alrededor de 206 000 unidades en 2024, impulsada principalmente por los modelos Ford Mustang Mach-E, Chevrolet Blazer EV, Chevrolet Equinox EV y Jeep Wagoneer S, ensamblados en diversas plantas del país (Martínez, 2024). Para 2025, diversos análisis sectoriales estiman que la producción podría superar las 250 000 unidades, lo que, aunque modesto en términos globales, posiciona a México como uno de los proveedores clave de vehículos eléctricos para Estados Unidos, dada su competitiva base manufacturera y su integración en la cadena de valor regional (Gallego Llano, 2025).

Este dinamismo manufacturero abre oportunidades para la industria automotriz nacional y refuerza su papel en la reconfiguración de las cadenas de suministro de electromovilidad, aunque también subraya la necesidad de articular políticas públicas que acompañen la transición, particularmente en infraestructura de carga, formación de talento y desarrollo de proveedores locales. En conjunto, estas tendencias confirman que los VE no solo representan un cambio tecnológico, sino una transformación estructural de la industria automotriz global y de las estrategias energéticas nacionales.

El objetivo de este artículo es analizar cómo las tecnologías pilares de los vehículos eléctricos (baterías e infraestructura de carga) han evolucionado en interacción con las políticas públicas que impulsan su producción y adopción, destacando estrategias globales y oportunidades para México. El artículo contribuye al entendimiento integral de los vehículos eléctricos, al conectar los avances tecnológicos en baterías e infraestructura de carga con las políticas públicas que los potencian. Además, proporciona una visión comparativa de cómo distintos países han implementado estrategias para fomentar la adopción de vehículos eléctricos, identificando aprendizajes aplicables al caso mexicano. Este enfoque destaca tanto las barreras tecnológicas como las oportunidades estratégicas para la transición energética en el sector transporte.

Para tal fin, el trabajo se encuentra dividido en siete secciones, además de la introducción. En la primera se expone el diseño metodológico llevado a cabo. En la segunda se presenta el análisis de la evolución de las dos tecnologías que se consideran pilares de los vehículos eléctricos: las baterías y la infraestructura de carga. La tercera parte expone las políticas públicas de siete países que han impulsado firmemente los vehículos eléctricos. Después se trata, de manera sucinta, la vinculación entre el desarrollo tecnológico y las políticas públicas. En la quinta sección se aborda el caso de México. En la sexta se refieren cinco hechos estilizados, y finalmente se proponen las reflexiones finales, los hallazgos de la investigación, las limitaciones y las futuras líneas de investigación que se abren.

DISEÑO METODOLÓGICO

Este estudio adopta un enfoque cualitativo de tipo exploratorio, orientado a analizar la relación entre los avances tecnológicos en los pilares fundamentales de los vehículos eléctricos (baterías e infraestructura de carga) y las políticas públicas que han impulsado su desarrollo y adopción. Se hizo una revisión narrativa de literatura científica, centrada en publicaciones desde 2008 hasta 2024. Se eligió el año 2008 porque representa un hito en la historia del impulso de los vehículos eléctricos, al ser cuando es puesta en la mesa de discusión de las políticas públicas su importancia para contrarrestar el cambio climático. A continuación, se explica el proceso que se siguió en la investigación.

Proceso de búsqueda de información

Se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica, informes técnicos y documentos estratégicos provenientes de organismos internacionales, como el Banco Mundial y la Agencia Internacional de Energía, con el objetivo de identificar y sintetizar información clave sobre las tecnologías pilares y las políticas públicas relacionadas con los vehículos eléctricos. Esta revisión permitió construir una base conceptual sólida para el análisis, enfocándose en los avances tecnológicos y su vinculación con las estrategias gubernamentales. Para la literatura científica se utilizaron las bases de datos Springer, MDPI, Emerald, y Science Direct.

Las palabras clave empleadas en la búsqueda fueron «vehículos eléctricos y evolución tecnológica», «vehículos eléctricos y políticas públicas», «baterías y evolución tecnológica», «infraestructura de carga y evolución tecnológica», «países líderes y vehículos eléctricos», «México y vehículos eléctricos». Estas palabras clave fueron utilizadas tanto en inglés como en español para asegurar una cobertura global y diversa de la literatura relevante.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios y reportes que proporcionaran datos empíricos, evidencia verificable y estudios de caso pertinentes para examinar la relación entre la evolución de las tecnologías clave de los vehículos eléctricos y las políticas públicas dirigidas a promover su desarrollo y adopción. En contraste, se excluyeron artículos de opinión sin sustento empírico y publicaciones que no estuvieran directamente relacionadas con el objetivo del estudio ni con las categorías de análisis establecidas.

Proceso de revisión

Se realizó una primera selección basada en los títulos y resúmenes de los artículos encontrados. Posteriormente, se llevó a cabo una lectura detallada de los artículos completos para evaluar su relevancia y calidad. Los estudios seleccionados fueron analizados y categorizados según su enfoque temático. El análisis se centró en dos dimensiones principales: 1) las tecnologías pilares: evolución de las baterías (tipos, avances en densidad energética, sostenibilidad, reciclaje) y de la infraestructura de carga (carga rápida, carga inalámbrica, integración con energías renovables), y

2) las políticas públicas: incentivos fiscales y financieros, regulación ambiental, desarrollo de infraestructura y mecanismos de colaboración público-privada.

Selección de los países

Se seleccionaron siete países líderes en la adopción de vehículos eléctricos: Noruega, China, Japón, Estados Unidos, Alemania, Francia y Países Bajos, para identificar patrones de éxito y contrastarlos con el contexto mexicano. Este análisis permitió evaluar cómo las políticas públicas han impactado el desarrollo de las tecnologías pilares y qué estrategias pueden ser replicadas o adaptadas en función de las condiciones institucionales, tecnológicas y de infraestructura de cada país.

Síntesis de la información

Los resultados obtenidos se integraron en una síntesis crítica que identifica hechos estilizados sobre los vehículos eléctricos, los cuales se asociaron a patrones y permiten ofrecer recomendaciones orientadas a fortalecer las políticas públicas y fomentar el desarrollo de las tecnologías pilares. Este diseño metodológico asegura una revisión integral y detallada de la literatura científica consultada, proporcionando una base sólida para las conclusiones y recomendaciones del artículo.

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: FASES Y PRINCIPALES TECNOLOGÍAS

La evolución de los vehículos eléctricos (VE) comenzó en la década de 1880 con la invención del primer VE, capaz de alcanzar una velocidad de 14 millas por hora, marcando el inicio de esta tecnología (Saaid *et al.*, 2024). En 1890, William Morrison introdujo el primer VE en Estados Unidos, seguido por Ferdinand Porsche, quien presentó el modelo P1 en 1898, impulsando la exploración en este sector. En 1914, Thomas Edison y Henry Ford intentaron popularizar un modelo económico de VE, pero el auge de los motores de combustión interna limitó su desarrollo (Joseph *et al.*, 2019). Aunque los VE fueron populares a finales del siglo XIX, la producción masiva de vehículos a gasolina por Karl Benz y Henry Ford los desplazó del mercado (Hayslett *et al.*, 2020). La era moderna de los VE comenzó con el lanzamiento del Toyota Prius en 1997, seguido por la entrada de Tesla en 2006, que revolucionó la tecnología y popularizó los automóviles eléctricos (Joseph *et al.*, 2019).

La evolución tecnológica de los vehículos eléctricos (VE) puede dividirse en cuatro fases que reflejan avances en sus principales tecnologías, las baterías y la infraestructura de carga. La decisión de centrar el análisis en las baterías y la infraestructura de carga responde a su papel fundamental en la viabilidad técnica y adopción de los vehículos eléctricos (VE). Las baterías constituyen el componente central de estos, determinando su autonomía, costos y eficiencia, mientras que la infraestructura de carga es clave para garantizar una experiencia de usuario conveniente y la adopción masiva de esta tecnología. Abordar estos dos pilares tecnológicos permite un enfoque más específico y profundo, en línea con el objetivo de proporcionar un análisis riguroso y bien fundamentado. Al delimitar el alcance, se evita la dispersión en áreas relacionadas,

como los sistemas de almacenamiento a gran escala que, si bien son relevantes para la transición energética, exceden el marco específico de los VE.

Las fases en las que se divide la evolución de los vehículos eléctricos no solo muestran cómo estas tecnologías han madurado con el tiempo, sino también la influencia de las políticas públicas. Estas fases permiten comprender cómo las baterías y la infraestructura de carga han madurado hasta convertirse en pilares de la movilidad eléctrica y la sostenibilidad energética, mismas que a continuación serán descritas.

Fase 1. Tecnologías iniciales y prototipos (antes de 2010)

En esta etapa, los VE eran poco comunes y se consideraban más una solución conceptual que una alternativa práctica al transporte basado en combustibles fósiles. En la década de 1970 inició la investigación sobre vehículos ecológicos, enfocada en fuentes de energía alterna para reemplazar a los motores de combustión interna (Shin y Lee, 2024), si bien durante la década siguiente la investigación en baterías se vio limitada por restricciones tecnológicas y ambientales (He *et al.*, 2022). De 1990 a 1997 los fabricantes de automóviles se enfocaron en iteraciones iniciales como baterías de plomo-ácido y níquel-hidrógeno (Faria y Andersen, 2017; Liu *et al.*, 2023).

Faria y Andersen (2017) señalan que de 1998 a 2005, debido a las frustraciones con las primeras experiencias de vehículos eléctricos, hubo un cambio hacia tecnologías de pilas de combustible y de 2006 a 2009 surgió un renovado interés por las tecnologías eléctricas e híbridas, impulsado por avances y una mejor comprensión de las capacidades de las baterías. Los sistemas de almacenamiento de energía también eran rudimentarios, con capacidades limitadas y poca durabilidad (Shin y Lee, 2024).

En cuanto a la infraestructura de carga, Moustafa (2024) señala que entre 1993 y 2006 se encuentran los desarrollos iniciales, los cuales estaban enfocados en el establecimiento de una infraestructura de carga básica. Esta era prácticamente inexistente, y las estaciones de carga estaban limitadas a aplicaciones experimentales, principalmente en hogares o centros de investigación (Mizushima *et al.*, 1980). Estos esfuerzos iniciales se dirigieron a hacer que los VE fueran una alternativa viable a los vehículos convencionales.

Fase 2. Expansión comercial y mejoras en baterías (2010-2015)

La producción comercial de VE comenzó a ganar impulso, especialmente en mercados desarrollados como Europa, Estados Unidos y Japón. En 2010 comienza la aplicación de baterías de iones de litio (Li-ion), lo que significó un hito tecnológico de los VE (Shin y Lee, 2024). Este tipo de baterías emergió como estándar, ofreciendo una mayor densidad energética y reduciendo significativamente el peso de los vehículos, lo que marcó un punto de inflexión en la viabilidad comercial de los VE (Dambros Telli *et al.*, 2024). En el año 2011 se comienza a trabajar en el reciclaje de baterías y a poner mayor énfasis en la sostenibilidad (Bründl *et al.*, 2024).

Las baterías de Li-ion han impulsado la producción y venta de VE, pues cuentan con un alta densidad energética, larga duración y bajas tasas de autodescarga (Dambros Telli *et al.*, 2024; Ortiz, 2024). Simultáneamente, comenzaron a desarrollarse las primeras redes de estaciones de carga rápida, apoyadas por políticas públicas como el programa EV Everywhere en Estados Unidos y planes de incentivos en Europa (Ortiz, 2024). Sin embargo, los sistemas de almacenamiento seguían en una etapa experimental, con prototipos centrados en aplicaciones urbanas (Dall-Orsoletta *et al.*, 2022). Esto representó desarrollos intermedios en las infraestructuras de carga (Moustafa, 2024).

Fase 3. Consolidación y adopción masiva (2016-2020)

Durante este período, los VE dejaron de ser una innovación de nicho y comenzaron a consolidarse como una opción viable para consumidores masivos. La evolución tecnológica de las baterías para VE ha sido significativa en las últimas décadas, respondiendo a dos necesidades: la escasez de combustibles fósiles y el impulso a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto fue posible gracias a una reducción significativa en los costos de las baterías de Li-ion. Además, se expandieron las redes de carga rápida y ultrarrápida en áreas urbanas y carreteras principales, mejorando la accesibilidad y fomentando la adopción de VE. En paralelo, se introdujeron sistemas de almacenamiento basados en baterías de segunda vida, principalmente para aplicaciones urbanas y energías renovables (Bründl *et al.*, 2024).

Fase 4. Innovación y sostenibilidad (2021-presente)

Actualmente, la innovación tecnológica se centra en la sostenibilidad y la economía circular. En los últimos años se han realizado importantes inversiones en investigación y desarrollo, con un enfoque en mejorar la química de las baterías, la densidad energética y el tamaño de los paquetes de baterías. Se están, por ejemplo, explorando innovaciones como el grafeno, para mejorar la capacidad de almacenamiento y reducir los tiempos de carga (Mallick y Gayen, 2023; Sampson, 2024; Jabbar, *et al.*, 2024).

Así mismo, es importante trabajar en la gestión térmica sea efectiva, pues esto es fundamental para prevenir la degradación de las baterías y garantizar su longevidad (Dambros *et al.*, 2024). Por su parte, Dall-Orsoletta *et al.* (2022) proponen que es importante que las baterías que conservan más de 80 por ciento de su capacidad puedan reutilizarse para movilidad urbana eléctrica y almacenamiento de energía renovable.

La infraestructura de carga ha evolucionado hacia sistemas inteligentes con interoperabilidad, mayor velocidad y carga inalámbrica emergente (Shin y Lee, 2024). Los sistemas de almacenamiento a gran escala, como las baterías de segunda vida integradas en redes inteligentes, están desempeñando un papel crucial en la transición hacia un modelo energético sostenible (Dall-Orsoletta *et al.*, 2022).

Finalmente, se puede señalar que los avances tecnológicos en baterías y sistemas de carga son fundamentales para el desarrollo de los VE, pues estos dependen de baterías de alta capacidad, y que actualmente hay tecnologías de baterías de nueva generación que hacen que estas sean térmicamente eficientes, compactas, robustas y con menores costos (Itani y De Bernardinis, 2023). En este sentido, la mejora continua de estos componentes resulta estratégica para incrementar la autonomía, la seguridad y la viabilidad económica de los VE en distintos mercados.

Las principales innovaciones clave alrededor de las baterías tienen que ver con el mejoramiento continuo para impulsar un mejor desempeño y duración (química de la batería), con esfuerzos para incrementar la cantidad de energía almacenada en un volumen dado o peso de la batería (densidad energética) y el desarrollo de métodos más rápidos de carga para mejorar la conveniencia y reducir el tiempo de inactividad (Sampson, 2024; Jabbar *et al.*, 2024; Mallick y Gayen, 2023; Dall-Orsoletta *et al.*, 2022; Greaker, 2021).

Los avances tecnológicos en la infraestructura de carga tienen que ver con los servicios de carga inteligente para optimizar la distribución de energía y equilibrar la oferta y la demanda utilizando energía renovable local (Shirley *et al.*, 2022), y la carga inductiva dinámica, que se refiere a la exploración de carriles de carga dinámica basados en tecnología de carga inalámbrica inductiva, que implica costos iniciales más altos y períodos de recuperación más largos en comparación con las estaciones de carga rápida tradicionales (Suomalainen y Colet, 2019).

Así mismo, el desarrollo de vehículos eléctricos plantea nuevos desafíos para el sector energético, especialmente a medida que este se enfrenta a las complejidades de implementar la automatización (Grzesiak y Sulich, 2023). Además, tecnologías emergentes como la carga inalámbrica y los sistemas V2G (Vehicle-to-Grid) están redefiniendo la infraestructura de carga (Mo *et al.*, 2022), y la integración del Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y la inteligencia artificial también están proporcionando nuevas oportunidades para la gestión y optimización de la movilidad eléctrica (Kampker *et al.*, 2022).

De acuerdo con Raad *et al.* (2024), en el futuro habrá un énfasis en la escalabilidad, así como en lo relativo a la planificación de la infraestructura, para dar cabida a innovaciones emergentes, como tecnologías de carga más rápidas y mayores rangos de los vehículos. Finalmente, puede decirse que las 4 fases de la evolución de las tecnologías pilares de los vehículos eléctricos reflejan un patrón acumulativo de conocimiento y avances tecnológicos, más que períodos aislados de innovación, como se puede apreciar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Evolución de los vehículos eléctricos y de sus tecnologías pilares

<i>Fase</i>	<i>Características de los VE</i>	<i>Tecnologías pilares</i>	
		<i>Baterías</i>	<i>Infraestructura de carga</i>
1. Tecnologías iniciales y prototipos (antes de 2010)	Los VE eran poco comunes. La I&D se enfocaba en baterías de plomo-ácido y en la idea de la movilidad eléctrica como alternativa ecológica.	Primeras baterías recargables de plomo-ácido: pesadas, con baja densidad energética y poca autonomía.	Sistemas de carga básicos y experimentales. Instalaciones limitadas, principalmente en hogares.
2. Expansión comercial y mejoras en baterías (2010-2015)	Comienza la producción comercial, especialmente en países desarrollados. Los VE ganan atención como alternativa real.	Investigación intensiva en baterías de iones de litio. Se establecen como estándar una mayor densidad energética y la reducción de peso de las baterías, y se da una mejora considerablemente de la autonomía.	Primeras redes de estaciones de carga rápida, apoyadas por políticas públicas en Europa y Estados Unidos.
3. Consolidación y adopción masiva (2016-2020)	Los VE se convierten en una opción viable para consumidores masivos, al tiempo que se da una reducción de costos en tecnologías clave.	Disminución del costo de baterías de iones de litio.	Redes de carga rápida y ultrarrápida se expanden en áreas urbanas y carreteras principales.
4. Innovación y sostenibilidad (2021-presente)	Avances tecnológicos acelerados en baterías y nuevos materiales. Enfoque en sostenibilidad y economía circular.	Desarrollo de baterías de estado sólido y exploración de tecnologías como el grafeno.	Infraestructura de carga inteligente: interoperabilidad, mayor velocidad y carga inalámbrica emergente.
Innovaciones tecnológicas clave		Química de baterías: se busca rendimiento y durabilidad. Densidad energética: incrementar la cantidad de energía almacenada.	Tecnologías de carga: métodos de carga rápida e inalámbrica para mejorar la conveniencia y reducir los tiempos de inactividad: carga inteligente y carga inductiva dinámica.

Fuente: Elaboración propia con base en la investigación realizada.

A partir de lo expuesto en el cuadro 1, pueden identificarse las siguientes tendencias relevantes en la evolución de las tecnologías clave de los vehículos eléctricos, particularmente en baterías e infraestructura de carga, así como en la creciente complejidad de los sistemas asociados a su desarrollo y adopción. Estas tendencias permiten observar que el avance de ambas tecnologías ha sido progresivo y estrechamente interdependiente a lo largo del tiempo. Así mismo, muestran que su evolución ha respondido tanto a la necesidad de mejorar el desempeño técnico de los vehículos eléctricos como a los requerimientos de infraestructura, sostenibilidad e integración tecnológica asociados a su adopción:

1. *Evolución acelerada y patrones acumulativos*: la evolución de los VE refleja un patrón acumulativo, donde cada fase tecnológica construye sobre los avances previos en baterías e infraestructura de carga. Desde las primeras baterías de plomo-ácido en prototipos iniciales hasta las baterías de estado sólido y desarrollos emergentes como las aplicaciones del grafeno orientados a mejorar la densidad energética, la sostenibilidad y la reducción de costos.

2. *Infraestructura de carga como factor clave*: la infraestructura de carga ha evolucionado de sistemas básicos y experimentales (1993-2006) hacia redes de carga rápida y ultrarrápida. Los avances en interoperabilidad y tecnologías emergentes, como la carga inalámbrica y sistemas inteligentes, buscan optimizar la experiencia del usuario y reducir el tiempo de inactividad.

3. *Énfasis en la innovación sostenible*: en etapas recientes, la investigación ha priorizado la sostenibilidad, destacando tecnologías como las baterías de estado sólido, la reutilización de baterías en aplicaciones energéticas, y la gestión térmica para extender la vida útil de los componentes. Estas innovaciones apuntan a minimizar los impactos ambientales de los vehículos eléctricos.

4. *Interacción entre avances tecnológicos*: los desarrollos en baterías e infraestructura de carga están estrechamente vinculados, toda vez que la capacidad de las baterías influye directamente en las demandas de la infraestructura de carga, mientras que las innovaciones en carga rápida e inalámbrica impulsan la adopción al mejorar la accesibilidad y conveniencia.

5. *Creciente complejidad tecnológica*: la incorporación de tecnologías como IoT, inteligencia artificial y sistemas V2G han añadido nuevas capas de complejidad, haciendo que los vehículos eléctricos no sean solo un avance mecánico, sino un nodo integral en la red energética moderna.

POLÍTICAS PÚBLICAS PARA IMPULSAR LA PRODUCCIÓN Y ADOPCIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En esta sección se abordan las políticas públicas implementadas por siete países líderes en el impulso de los vehículos eléctricos, así como las acciones emprendidas en México. Estos países líderes han implementado políticas integrales para promover la producción y adopción de vehículos eléctricos (VE) y van a la vanguardia en esta tecnología, por lo que es importante el análisis de las políticas que han llevado a cabo con la idea de que países más rezagados aprendan, adopten y adapten las prácticas más innovadoras (Fekete *et al.*, 2021). Estas políticas incluyen incentivos fiscales, financieros, inversiones en infraestructura de carga y otras medidas (cuadro 2).

Cuadro 2. Incentivos otorgados por los principales países impulsores de los vehículos eléctricos

País	Tipos de incentivos						
	Financieros y fiscales	Infraestructura	Incentivos conductuales	Regulaciones y normativas	Incentivos indirectos	Concientización y educación	Colaboraciones público-privadas
Alemania	Subsidios directos. Reducción de impuestos.	Instalación de puntos de carga en áreas urbanas.	No aplica.	Estrategia nacional de movilidad.	Inversión en desarrollo de baterías.	Iniciativas para impulsar la transición.	Programas piloto con fabricantes.
China	Subsidio para la compra de VE.	Infraestructura de carga masiva.	Acceso preferencial en áreas urbanas.	Metas nacionales de adopción de VE.	Inversión en investigación y desarrollo.	Programas de concientización masiva.	Colaboración entre gobierno y empresas locales.
Estados Unidos	Incentivos fiscales federales y estatales.	Expansión de la Red Nacional de Carga de VE.	Uso de carriles HOV (High Occupancy). Acceso preferencial en estacionamiento. Áreas de tráfico restringidas.	Estándares de emisiones más estrictas.	Financiamiento a fabricantes de VE.	Programas educativos estatales.	Apoyo conjunto entre estados y empresas.
Francia	Subsidios para compra de VE. Exenciones fiscales.	Inversión en estaciones de carga.	Preferencia en estacionamientos.	Políticas de reducción de emisiones.	Fomento a la investigación en baterías.	Campañas educativas sobre movilidad sostenible.	Programas de cargadores domésticos.
Japón	Subsidios para la compra de VE, con montos de hasta 850 000 yenes, priorizando vehículos que promueven la reducción de emisiones y ciberseguridad.	Tiene como objetivo instalar 300 000 cargadores para 2030, duplicando la meta anterior.	Acceso a carriles exclusivos y estacionamiento preferencial en ciertas áreas urbanas.	Estándares de emisiones más estrictos y promoción de energías renovables para la carga de VE.	Subvenciones para el desarrollo y producción de baterías para VE, como los 120 000 millones de yenes otorgados a Toyota.	Campañas de sensibilización sobre los beneficios de los VE y programas educativos en movilidad sostenible.	Alianzas con empresas automotrices para el desarrollo de tecnologías y expansión de infraestructura de carga.
Noruega	Exenciones de impuestos de compra y circulación.	Redes extensivas de carga rápida.	Acceso a carriles exclusivos, estacionamiento gratuito.	Prohibición de nuevos vehículos de combustión interna a partir de 2025.	Apoyo a empresas que adopten flotas eléctricas.	Sensibilización sobre beneficios de los VE.	Alianzas para desarrollo de infraestructura.
Países Bajos	Incentivos para cargadores domésticos, subsidios y beneficios con impuestos.	Amplia red de estaciones de carga pública.	Exención en zonas de restricción vehicular. Acceso a carriles exclusivos y estacionamiento gratuito.	Reglas para incentivar vehículos de cero emisiones.	Subsidios en investigación y tecnología.	Educación para ciudadanos y empresas.	Asociaciones público-privadas en infraestructura.

(continúa)

País	Tipos de incentivos						
	Financieros y fiscales	Infraestructura	Incentivos conductuales	Regulaciones y normativas	Incentivos indirectos	Concientización y educación	Colaboraciones público-privadas
<i>(continuación)</i>							
México	Exención del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN) para vehículos eléctricos. Deducción fiscal de hasta 250 000 pesos en la adquisición de vehículos eléctricos.	Inversión en estaciones de carga en áreas urbanas y corredores carreteros.	Exención de restricciones vehiculares como el «Hoy No Circula» y acceso a carriles exclusivos en algunas ciudades.	Implementación de normas oficiales para la eficiencia energética y emisiones de vehículos.	Incentivos para empresas que adopten flotas eléctricas y tarifas eléctricas preferenciales para la carga de VE.	Programas de concientización sobre movilidad eléctrica y beneficios ambientales de los VE.	Colaboraciones con el sector privado para el desarrollo de infraestructura y promoción de la electromovilidad.

Fuente: Elaboración propia con base en Fekete *et al.* (2021), Martínez-Lao *et al.* (2017), Schlüter y Weyer (2019), International Press (2024), Bai *et al.* (2025).

La selección de los países considerados responde a criterios académicos que permiten realizar una comparación representativa y fundamentada. En primer lugar, destacan por su liderazgo global en electromovilidad, ya que Noruega, China, Estados Unidos, Alemania y Japón han implementado políticas integrales y diversas, reflejando enfoques exitosos y escalables para impulsar la adopción de vehículos eléctricos. En segundo lugar, estos países ofrecen una diversidad de modelos políticos y económicos, al combinar economías de mercado maduras, como Noruega, Alemania y Japón, con esquemas de mayor intervención estatal, como el caso de China, lo que permite analizar cómo las estructuras políticas y económicas influyen en el diseño de las políticas públicas. En tercer lugar, la inclusión de México aporta un referente comparativo relevante, al permitir identificar áreas de oportunidad y examinar cómo ciertas políticas podrían adaptarse a un contexto emergente con limitaciones estructurales, pero con un potencial significativo en la producción automotriz.

Por su parte, las medidas identificadas pueden clasificarse en siete categorías: 1) incentivos fiscales y financieros: son políticas orientadas a reducir el costo inicial de adquisición o el costo total de propiedad de los vehículos eléctricos mediante subsidios directos, exenciones fiscales o reducciones en tarifas vinculadas al transporte; 2) infraestructura: se refiere al desarrollo de redes de estaciones de carga públicas y a la instalación subvencionada de cargadores domésticos; 3) incentivos conductuales: acceso preferencial a carriles exclusivos, estacionamiento gratuito o preferencial en áreas urbanas y exención de ciertas restricciones de tráfico; 4) regulaciones y normativas: establecimiento de metas obligatorias para la venta de VE y restricciones graduales a los vehículos de combustibles fósiles; 5) incentivos indirectos: inversión en investigación y desarrollo para mejorar la tecnología de baterías y vehículos eléctricos, así como subvenciones para empresas que adopten flotas eléctricas; 6) concientización y educación: programas dirigidos a sensibilizar sobre los beneficios de esta tecnología y fomentar la transición hacia una movilidad

más sostenible; y 7) colaboraciones público-privadas: programas conjuntos entre gobiernos y empresas para expandir la infraestructura y facilitar la adopción.

En conjunto, las iniciativas gubernamentales para apoyar la producción y adopción de VE varían por país y región, pero suelen centrarse en incentivos económicos, desarrollo de infraestructura, reciclaje de baterías, regulación y promoción de la investigación y el desarrollo. Singh *et al.* (2024) mencionan que, debido a los altos costos, los vehículos eléctricos son poco asequibles para las personas de bajos ingresos, por lo que los incentivos fiscales o subvenciones para la compra serían recomendables. A continuación, se destacan algunas iniciativas clave en diferentes partes del mundo.

En Europa, Noruega ofrece, desde 1990, una combinación de exenciones fiscales (del pago del IVA de 25 % y de otros impuestos aplicables a la compraventa de vehículos), incentivos financieros y acceso gratuito a peajes y estacionamiento, acceso al carril de transporte público; esto ha impulsado a que más del 50 por ciento de los vehículos nuevos sean eléctricos, las autoridades noruegas han apostado por los VE respondiendo a motivos medioambientales (Wirth, 2016).

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA, por sus siglas en inglés) han implementado normas de emisiones más estrictas, a fin de fomentar la adopción de vehículos eléctricos. A nivel federal, los compradores de vehículos eléctricos nuevos podían hasta hace poco acceder a un crédito fiscal de hasta 7 500 dólares (USD) bajo la Inflation Reduction Act de 2022 (IRS, 2023), siempre y cuando el vehículo cumpliera con los requisitos de ensamblaje en Norteamérica y con las disposiciones de contenido de baterías vigentes hasta septiembre de 2025, fecha en que concluyó la aplicación plena de estos criterios. Después de esa etapa, la continuidad y el alcance de los incentivos han estado sujetos a ajustes regulatorios y a procesos de reinterpretación legislativa. Además, diversos estados mantienen programas complementarios, como exenciones de impuestos sobre ventas, créditos estatales o reembolsos por la instalación de infraestructura de carga, que continúan estimulando la demanda de vehículos eléctricos y reforzando la expansión de su red de apoyo.

En cuanto a la infraestructura de carga, el gobierno estadounidense ha propuesto inversiones significativas en la expansión de la red de carga de VE a través de un ambicioso plan de infraestructura, con el objetivo de instalar 500 000 estaciones de carga para 2030 (IEA, 2024). China, por su parte, ha implementado políticas agresivas para promover la adopción de VE, que incluyen subsidios tanto para los productores como para los compradores (Salgado-Conrado *et al.*, 2024), lo que ha provocado un aumento considerable en las ventas de este tipo de vehículos. El gobierno chino ofrece, igualmente, subsidios significativos para la compra de VE, aunque estos han disminuido gradualmente en los últimos años.

En cuanto a la infraestructura, la Red Nacional de Carga ha desarrollado una vasta red de estaciones de carga y continúa expandiéndola, con el objetivo de tener más de 4.8 millones de estaciones de carga para 2030. Finalmente, en lo relativo a la normatividad, China ha establecido un sistema de cuotas de Vehículos de Nueva Energía (NEV, por sus siglas en inglés), que obliga a

los fabricantes a producir un cierto porcentaje de VE. Así mismo, varias ciudades chinas están implementando zonas de emisión cero, donde solo se permiten esta clase de vehículos.

En Japón, el gobierno ofrece subsidios para la compra de VE y la instalación de estaciones de carga en hogares y empresas. Los VE están sujetos también a reducciones significativas en los impuestos de adquisición y propiedad, y el país ha invertido en la expansión de la red de carga rápida con el objetivo de instalar más estaciones de carga en áreas urbanas y rurales. Además, Japón tiene una estrategia nacional para reducir las emisiones de CO₂ y promover la adopción de VE como parte de sus compromisos climáticos (International Press, 2024).

El conjunto de estas medidas, implementadas en algunos países, coinciden con las propuestas de Santamarta (2009), quien señalaba que se requería aplicar desgravaciones fiscales a la adquisición de VE, tanto para los consumidores como para las empresas que adquirieran flotillas, así como de apoyo para desarrollar infraestructura como puntos de recarga y otras complementarias, como estaciones de cambio de baterías.

De acuerdo con Anilan y Vij (2024), el tipo de incentivos adecuados dependerá de la etapa de adopción de los vehículos eléctricos en determinado contexto. En las primeras etapas, los subsidios y los incentivos fiscales son los más apropiados, pero en etapas posteriores tendrán menos impacto, al tiempo que la construcción de infraestructura pública de carga es importante para la adopción sostenible de los VE. Por su parte, Rietmann y Lieven (2019) señalan que la colaboración pública-privada puede impulsar la efectividad de estas políticas, y los países señalados demuestran que una combinación de incentivos fiscales y financieros, el desarrollo de infraestructura y las regulaciones de apoyo pueden promover la adopción de los VE.

Las políticas públicas juegan un papel crucial en el impulso de la adopción de esta tecnología. En la Unión Europea, las regulaciones sobre emisiones de CO₂ y los objetivos de reducción de emisiones han acelerado la adopción de VE (Leurent y Windisch, 2011). Por su parte, el gobierno federal de Estados Unidos ha implementado incentivos fiscales y políticas de apoyo para promover la adopción de VE (Internal Revenue Service, 2023); sin embargo, la disponibilidad limitada de infraestructura de recarga –en particular para hogares sin acceso a carga en casa y en regiones con baja densidad de estaciones públicas– sigue siendo una barrera importante para su adopción masiva (Pezeshknejad *et al.*, 2026; Hanig *et al.*, 2025). Finalmente, en China los subsidios gubernamentales y las restricciones sobre vehículos de combustión interna en las grandes ciudades han impulsado el crecimiento del mercado de VE (Kampker *et al.*, 2022).

Cabe señalar, sin embargo, que algunos de los incentivos resumidos a manera de ejemplo en el cuadro 2 han sido modificados o ajustados recientemente. Destacan, entre ellos, la eliminación de subsidios nacionales en China y Alemania, o los nuevos criterios de elegibilidad para incentivos federales en Estados Unidos. Todo esto es reflejo de la constante evolución de las políticas de electromovilidad a nivel global.

VINCULACIÓN ENTRE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS Y EL DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS

La vinculación entre el desarrollo de las dos tecnologías pilares (baterías e infraestructura de carga) y las políticas públicas implementadas se puede sintetizar a partir de dos grandes dimensiones analíticas. Por un lado, las políticas públicas han contribuido a impulsar la innovación tecnológica en baterías; por otro, han favorecido la expansión y consolidación de la infraestructura de carga, elemento indispensable para su adopción.

1. Impulso a la innovación tecnológica mediante políticas públicas

a) Incentivos fiscales y financieros: las políticas públicas han promovido la investigación y el desarrollo de baterías de mayor densidad energética, reciclables y sostenibles mediante incentivos económicos dirigidos a empresas y centros de investigación. Por ejemplo, en países como China y Estados Unidos, los subsidios a la fabricación de baterías han acelerado la innovación tecnológica, reduciendo costos y mejorando su competitividad en el mercado (Ezell, 2024; Bai *et al.*, 2025; Lombardo *et al.*, 2025).

b) Normativas ambientales: las regulaciones estrictas sobre emisiones de gases de efecto invernadero han incentivado la transición hacia vehículos eléctricos. Estas normativas han fomentado tanto la producción de baterías avanzadas como la construcción de redes de carga eléctrica en regiones clave.

2. Infraestructura de carga: un pilar clave para la adopción

a) Desarrollo de redes de carga pública y privada: las políticas públicas han facilitado la expansión de la infraestructura de carga mediante inversiones directas en estaciones de carga rápida y ultrarrápida, así como alianzas público-privadas. Esto ha permitido que las ciudades y carreteras principales cuenten con una cobertura cada vez más extensa, mejorando la experiencia del usuario.

b) Estándares de interoperabilidad: en países como Noruega y Alemania, las políticas han promovido la interoperabilidad entre diferentes proveedores de carga, facilitando la integración de tecnologías como la carga inteligente y los sistemas V2G.

3. Convergencia tecnológica-política para la adopción masiva

a) Reducción de costos y accesibilidad: el apoyo gubernamental mediante incentivos económicos y políticas industriales ha reducido significativamente los costos de las baterías (como las de iones de litio) y de la infraestructura de carga, haciéndolos más accesibles para el consumidor final.

b) Economía circular y sostenibilidad: las políticas orientadas al reciclaje y reutilización de baterías, como las puestas en curso en Alemania, han establecido marcos regulatorios que garantizan la sostenibilidad de las tecnologías involucradas. Esto no solo refuerza la aceptación social de los VE, sino que también impulsa la inversión en tecnologías más limpias y eficientes.

En resumen, las políticas públicas han sido un catalizador indispensable para el desarrollo de las tecnologías pilares de los vehículos eléctricos, al alinear objetivos tecnológicos con metas de sostenibilidad y reducción de emisiones. Sin embargo, el éxito de estas políticas depende de su capacidad para adaptarse a contextos locales y promover la colaboración entre los sectores público y privado.

MÉXICO: INICIATIVAS PARA IMPULSAR LA PRODUCCIÓN Y ADOPCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La transferencia de políticas públicas es un proceso clave en el diseño e implementación de estrategias gubernamentales que aprovechen el conocimiento de otras latitudes. Según Van Gossum *et al.* (2009) y Clarke (2009), este proceso implica la adopción, adaptación o inspiración en políticas previamente aplicadas en otros contextos, permitiendo a los gobiernos abordar desafíos comunes de manera eficiente.

Existen tres modalidades principales: 1) transferencia voluntaria o extracción de lecciones, que ocurre cuando los responsables de las políticas buscan activamente aprender y adoptar iniciativas exitosas de otros contextos para abordar problemas existentes; 2) transferencia negociada, que implica un proceso colaborativo donde las políticas son adaptadas mediante compromisos entre actores clave; y 3) transferencia coercitiva, que se da cuando un actor externo, como una organización internacional, impone políticas como condición para recibir apoyo. De manera adicional, la transferencia puede adoptar formas como la copia directa, la emulación (adaptación con ajustes), la combinación de elementos de diversas políticas o la inspiración sin adopción directa.

Factores que influyen y desafíos en la transferencia de políticas

El éxito de la transferencia de políticas depende de varios factores. Uno de los más importantes es la compatibilidad ideológica e institucional entre el país de origen y el receptor. Por ejemplo, políticas que funcionaron en Noruega podrían no ser adecuadas para México sin ajustes, debido a diferencias en capacidades económicas e infraestructura. Otro factor es la disponibilidad de recursos, ya que implementar estaciones de carga o subsidios para VE, por ejemplo, requiere inversión que debe ser priorizada adecuadamente. Sin embargo, la transferencia también enfrenta desafíos. La transferencia desinformada puede llevar a políticas mal entendidas o aplicadas sin considerar el contexto local. Por otro lado, la transferencia incompleta puede omitir elementos clave, debilitando su efectividad. Finalmente, la transferencia inadecuada ocurre cuando las políticas adoptadas no responden a las necesidades del nuevo contexto.

Aplicación de la transferencia de políticas al caso de México

Para impulsar la electromovilidad en México, es esencial aprender de políticas exitosas en otros países, adaptándolas a las condiciones locales. Por ejemplo, la infraestructura de carga en China y los incentivos fiscales en Noruega son modelos que pueden guiar la transición mexicana. Sin

embargo, estas políticas deben ajustarse para reflejar la desigualdad socioeconómica del país, priorizando subsidios para VE asequibles y accesibles.

México también debe considerar la transferencia negociada, involucrando a actores clave como fabricantes de automóviles, gobiernos estatales y empresas de energía para desarrollar políticas coherentes. Además, la transferencia de elementos inspirados en otros contextos puede fomentar innovación, como el diseño de campañas educativas sobre el impacto ambiental de los VE. En el cuadro 3 se resumen las modalidades principales de transferencia de políticas y su aplicación específica en México.

Cuadro 3. Principales modalidades de transferencia de políticas para México

<i>Modalidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplo para México</i>
Transferencia voluntaria	Búsqueda activa y adopción de políticas exitosas de otros contextos.	Replicar incentivos fiscales como en Noruega, pero adaptados para priorizar VE de bajo costo.
Transferencia negociada	Adaptación de políticas mediante negociación entre actores clave.	Negociar con fabricantes nacionales e internacionales la producción de VE asequibles y accesibles para el mercado mexicano.
Transferencia coercitiva	Políticas impuestas por actores externos, como organismos internacionales.	Adoptar estándares internacionales de emisiones como requisito para acceder a financiamiento climático.
Copia	Replicación directa de políticas de otro contexto.	Introducir programas piloto que repliquen esquemas de subsidios en ciudades de alta contaminación, como el Valle de México.
Emulación	Adaptación de políticas manteniendo sus principios clave.	Adaptar el modelo chino de estaciones de carga pública a través de alianzas público-privadas, ajustándolo a la infraestructura eléctrica nacional.
Combinación	Integración de elementos de múltiples políticas para un enfoque nuevo.	Crear un programa integral que combine incentivos de compra, infraestructura de carga y campañas educativas.
Inspiración	Uso de políticas de otros contextos como fuente de ideas sin adopción directa.	Diseñar campañas de concienciación ambiental inspiradas en los programas europeos, destacando beneficios económicos y de salud.

Fuente: Elaboración propia.

La transferencia de políticas públicas para la electromovilidad representa una oportunidad estratégica para que México avance hacia un modelo más sostenible y alineado con sus compromisos internacionales. Sin embargo, este proceso debe ser guiado por un análisis riguroso de las modalidades, factores y desafíos involucrados, asegurando una adaptación contextual que maximice su impacto. Adoptar un enfoque integral que combine incentivos, infraestructura y participación social puede posicionar a México como un líder regional en la transición hacia los vehículos eléctricos.

HECHOS ESTILIZADOS DERIVADOS DEL AVANCE TECNOLÓGICO Y LAS POLÍTICAS QUE IMPULSAN LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El análisis del desarrollo de los vehículos eléctricos se fundamenta en una serie de hechos estilizados que permiten identificar patrones clave y dinámicas recurrentes en su evolución tecnológica y política. Estos hechos, extraídos de la revisión realizada, destacan los avances más significativos en las tecnologías pilares, así como el papel de las políticas públicas en su adopción. Así mismo, sirven como punto de partida para comprender las barreras y oportunidades que enfrentan los VE en diferentes contextos, particularmente en países como México, donde la transición hacia la electromovilidad aún presenta retos estructurales. A continuación, se presentan los cinco hechos estilizados que se identificaron.

Hecho estilizado 1. Tendencias comunes en la evolución tecnológica

La investigación en baterías y sistemas de carga inalámbricos o rápidos son constantes en la evolución tecnológica, y tecnologías como la carga V2G se destaca como una tecnología emergente en varios países. En este sentido, la evolución de las baterías y las tecnologías de carga son clave para el avance de la electromovilidad. México podría enfocarse en adaptar y adoptar estas tecnologías, buscando integrar capacidades de almacenamiento y generación de energía en los sistemas de VE.

Hecho estilizado 2. Diversidad de enfoques en políticas públicas según el contexto

Los países líderes (Alemania, Estados Unidos, China, Noruega, entre otros) adoptan enfoques de políticas diversificados que reflejan tanto objetivos ambientales como económicos, pero cada país utiliza mecanismos adaptados a sus condiciones socioeconómicas y prioridades. Por ejemplo:

- Noruega prioriza incentivos fiscales y políticas que eliminan el IVA y reducen costos de peajes, dada su capacidad para implementar políticas agresivas y su compromiso ambiental.
- China usa una combinación de incentivos directos y regulaciones estrictas sobre emisiones, aprovechando su capacidad de intervención estatal en un mercado de gran escala.
- Estados Unidos combina incentivos fiscales con regulaciones ambientales, reflejando un enfoque más descentralizado y estatal.

A nivel general, el patrón que emerge refleja los incentivos económicos, las regulaciones ambientales y la infraestructura de carga como puntos comunes, pero cada país adapta estas políticas a sus realidades políticas y económicas. Esto sugiere que México debería diseñar políticas que estén alineadas tanto con su contexto económico como con sus limitaciones en infraestructura.

Hecho estilizado 3. Importancia de la infraestructura de carga como barrera o impulsor clave

La infraestructura de carga es un tema recurrente en la adopción de vehículos eléctricos. Países como China y Estados Unidos han invertido fuertemente en expandir redes de carga para acompañar los incentivos de adopción de VE, mientras que México aún muestra limitaciones en este aspecto. La infraestructura de carga es crítica, y en gran parte determina la viabilidad de la adopción masiva de VE. En países donde la infraestructura es insuficiente, los incentivos fiscales y las regulaciones no bastan para impulsar la adopción. Este es un punto clave para el desarrollo de la electromovilidad en México.

Hecho estilizado 4. Diferencias en la justificación de políticas para impulsar los vehículos eléctricos

En varios países, la adopción de los vehículos eléctricos es impulsada no solo por motivos ambientales, sino también por razones geopolíticas y comerciales. Freyssenet (2011) sugiere que la adopción de VE está vinculada tanto al posicionamiento estratégico como a la reducción de dependencia energética, lo cual es particularmente evidente en Europa y Asia. Se debe entender, pues, que la electromovilidad se justifica de manera distinta según el contexto: en Europa, es una cuestión de sostenibilidad ambiental y reducción de emisiones; en China, además de sostenibilidad, es un motor económico y un movimiento estratégico para dominar el mercado de baterías. México podría orientar sus políticas hacia una estrategia de crecimiento económico, apuntando a la industria de autopartes y manufactura, pero integrando objetivos ambientales.

Hecho estilizado 5. Necesidad de un enfoque integral y multisectorial

En países con avances significativos en la adopción de vehículos eléctricos, la colaboración entre el gobierno, la industria automotriz, el sector energético y el académico es fundamental. Estos actores participan activamente en el desarrollo de políticas y en la implementación de infraestructura y tecnología. La integración multisectorial y la colaboración público-privada son esenciales, y en México, replicar este enfoque podría facilitar el desarrollo de un ecosistema de electromovilidad más robusto, aprovechando tanto el potencial de producción local como las alianzas internacionales.

REFLEXIONES FINALES

El análisis realizado sobre la interacción entre las tecnologías pilares de los vehículos eléctricos (baterías e infraestructura de carga) y las políticas públicas que fomentan su producción y adopción ha permitido identificar avances significativos y desafíos persistentes en la transición hacia la producción y adopción de vehículos eléctricos. A continuación, se presentan las principales conclusiones.

Hallazgos, limitaciones y líneas futuras de investigación

Los avances tecnológicos en las baterías de iones de litio han sido fundamentales para la consolidación de los vehículos eléctricos como una alternativa viable, debido a mejoras en densidad energética, sostenibilidad y costos, promovidas en gran medida por políticas públicas orientadas a la innovación tecnológica. De manera complementaria, la infraestructura de carga ha evolucionado hacia sistemas rápidos e inteligentes, integrando tecnologías emergentes como la carga inductiva dinámica y V2G. Estas innovaciones han sido facilitadas por subsidios y regulaciones específicas en países líderes como Noruega, China, Estados Unidos y Alemania.

Sin embargo, en México, aunque se han implementado programas de electrificación e incentivos fiscales, la infraestructura de carga es insuficiente y las políticas públicas no están completamente alineadas con las necesidades tecnológicas ni con las características del mercado local, lo que limita el alcance de su adopción. La interacción entre los avances tecnológicos y las políticas públicas ha demostrado ser crucial para superar barreras como los costos iniciales de las baterías y la limitada accesibilidad a estaciones de carga. No obstante, esta relación sigue siendo desigual en regiones con menores recursos, donde persisten brechas significativas que dificultan la adopción masiva de vehículos eléctricos.

El estudio presenta ciertas limitaciones que invitan a futuras investigaciones. Por un lado, el análisis del contexto mexicano se basa principalmente en fuentes secundarias, lo que restringe la profundidad del diagnóstico local. Además, la ausencia de datos cuantitativos limita la capacidad de medir el impacto directo de las políticas públicas en las tecnologías pilares. Por último, aunque se abordan las baterías y la infraestructura de carga, no se profundiza en otras tecnologías complementarias, como los sistemas de almacenamiento energético a gran escala y su integración con energías renovables.

Entre las líneas futuras de investigación se propone realizar diagnósticos regionales en México para identificar barreras específicas relacionadas con la infraestructura, el financiamiento y el marco regulatorio. También se sugiere realizar estudios cuantitativos que evalúen el impacto de las políticas públicas en la evolución tecnológica y la adopción de vehículos eléctricos. Así mismo, es fundamental explorar el papel de la economía circular mediante políticas que fomenten el reciclaje y la reutilización de baterías, así como promover modelos de colaboración multisectorial entre gobiernos, academia y el sector privado, que fortalezcan las estrategias para una transición hacia la electromovilidad más efectiva y sostenible.

En conclusión, el desarrollo de las tecnologías pilares y las políticas públicas asociadas han sido fundamentales para el avance de los vehículos eléctricos a nivel global. Sin embargo, en México, es necesario articular esfuerzos estratégicos que permitan superar las barreras existentes y aprovechar las oportunidades identificadas, adaptando las lecciones internacionales al contexto local. Estas acciones serán clave para consolidar una transición energética sostenible y competitiva en el país.

REFERENCIAS

- Anilan, V., y Vij, A. (2024). Taking the wheel: Systematic review of reviews of policies driving BEV adoption. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 136, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104424>
- Bai, S., He, H., y Li, Y. (2025). Government subsidy strategies for power batteries of new energy vehicles: The perspectives of R&D and recycling. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(748), 1-9. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-05103-4>
- Bründl, P., Scheck, A., Nguyen, H., y Franke, J. (2024). Towards a circular economy for electrical products: A systematic literature review and research agenda for automated recycling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 87, 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102693>
- Clarke, N. (2009). In what sense «spaces of neoliberalism»? The new localism, the new politics of scale, and town twinning. *Political Geography*, 28(8), 496-507. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2009.12.001>
- Dall-Orsoletta, A. Ferreira, P., y Gilson Dranka, G. (2022). Low-carbon technologies and just energy transition: Prospects for electric vehicles. *Energy Conversion and Management: X*, 16, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100271>
- Dambros Telli, G., Gungor, S., y Lorente, S. (2024). Counterflow canopy-to-canopy and U-turn liquid cooling solutions for battery modules in stationary Battery Energy Storage Systems. *Applied Thermal Engineering*, 238, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121997>
- European Commission. (2021, 11 de octubre). «Fit for 55»: Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality (COM/2021/550). https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/communication-com2021550-fit-55-delivering-eus-2030-climate-target-way-climate_en
- Ezell, S. J. (2024, 29 de julio). How innovative is China in the electric vehicle and battery industries? *Information Technology and Innovation Foundation*. <https://itif.org/publications/2024/07/29/how-innovative-is-china-in-the-electric-vehicle-and-battery-industries/>
- Faria, L., y Andersen, M. (2017). Sectoral patterns versus firm-level heterogeneity: The dynamics of eco-innovation strategies in the automotive sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 266-281. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.018>
- Fekete, H., Kuramochi T., Roelfsema M., Elzen M., Forsell N., Höhne N., Luna L., Hans F., Sterl S., Olivier J., van Soest H., Frank S., y Gusti, M. (2021). A review of successful climate change mitigation policies in major emitting economies and the potential of global replication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110602>

- Freyssenet, M. (2011, 15 de febrero). *Lo más dudoso no es lo más improbable: el coche eléctrico. La nueva revolución del automóvil* [Conferencia]. Jornada internacional «Movilidad sostenible y vehículo eléctrico, el motor de la innovación local», Valladolid, España. [http://freyssenet.com/files/Lo mas dudoso no es lo mas improbable el coche electrico La nueva revolucion del automovil.pdf](http://freyssenet.com/files/Lo%20mas%20dudoso%20no%20es%20lo%20mas%20improbable%20el%20coche%20electrico%20La%20nueva%20revolucion%20del%20automovil.pdf)
- Gallego Llano, F. (2025, 3 de julio). Mexico's electric vehicle revolution: An update for 2025 [Podcast de audio]. En *Mexico Business News*. <https://mexicobusiness.news/media/audioarticle/2025/07/03/mexicos-electric-vehicle-revolution-update-2025>
- Greaker, M. (2021). Optimal regulatory policies for charging of electric vehicles. *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, 97, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102922>
- Grzesiak, S. S., y Sulich, A. (2023). Electromobility: Logistics and business ecosystem perspectives review. *Energies*, 16(21), 1-27. <https://doi.org/10.3390/en16217249>
- Hanig, L., Ledna, C., Nock, D., Harper, C.D., Yip, A., Wood, E., y Spurlock, C.A. (2025). Finding gaps in the national electric vehicle charging station coverage of the United States. *Nature communications*, 16(561), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-55696-8>
- Hayslett, S., Van Mannen, K., Wenzel, W., y Husain, T. (2020). The 48-V mild hybrid: Benefits, motivation, and the future outlook. *IEEE Electrification Magazine*, 8(2), 11-17, <https://doi.org/10.1109/MELE.2020.2985481>
- He, C., Li, M., Wang, F., y Zheng, J. (2022). Simulation study of a cylindrical battery module. *Journal of Energy Storage*, 48, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104000>
- Internal Revenue Service (IRS). (2023, 12 de abril). *Here's what taxpayers need to know to claim clean vehicle tax credits*. <https://www.irs.gov/newsroom/heres-what-taxpayers-need-to-know-to-claim-clean-vehicle-tax-credits>
- International Energy Agency (IEA). (2024). *Global EV Outlook 2024. Moving towards increased affordability*. IEA Publications. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a9e3544b-0b12-4e15-b407-65f5c8ce1b5f/GlobalEVOutlook2024.pdf>
- International Energy Agency (IEA). (2025). *Global EV Outlook 2025: Expanding sales in diverse markets*. IEA Publications. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7ea38b60-3033-42a6-9589-71134f4229f4/GlobalEVOutlook2025.pdf>
- International Press. (2024, 20 de marzo). *Japón anuncia los subsidios por la compra de vehículos eléctricos: los montos suben significativamente*. <https://internationalpress.jp/2024/03/20/japon-anuncia-los-subsidios-por-la-compra-de-vehiculos-electricos-los-montos-suben-significativamente/>
- Itani, K., y De Bernardinis, A. (2023). Review on new-generation batteries technologies: Trends and future directions. *Energies*, 16(22), 1-29. <https://doi.org/10.3390/en16227530>

- Jabbar, M., Chawla, U., Mishra, V., Iqbal, H., Singh, H., y Singh, S. (2024). An empirical study in analyzing customer preferences and adoption of electric vehicles. En S. Chattopadhyay y U. Chawla (Eds.), *Sustainability in marketing practice: Strategies for Industry 4.0*. Apple Academic Press. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781032668123-12/empirical-study-analyzing-customer-preferences-adoption-electric-vehicles-jabbar-udit-chawla-varsha-mishra-hena-iqbal-harsh-vikram-singh-sarabjot-singh>
- Jaramillo, P., Kahn Ribeiro, S., y Newman, P. (Coords.). (2022). Transport. En Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate change 2022: Mitigation of climate change* (pp. 1049-1160). Cambridge University Press.
- Joseph, P. K., Elangovan, D., y Arunkumar, G. (2019). Linear control of wireless charging for electric bicycles. *Applied Energy*, 255, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113898>
- Kampker, A., Kreisköther, K., Treichel, P., Möller, T., Boelsen, Y., y Neb, D. (2022). Electromobility: Trends and challenges of future mass production. En W. Frenz (Ed.), *Handbook Industry 4.0* (pp. 559-578). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64448-5_29
- Leurent, F., y Windisch, E. (2011). Triggering the development of electric mobility: A review of public policies. *European Transport Research Review*, 3(4), 221-235. <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0064-3>
- Liu, F., Shafique, M., y Luo, X. (2023). Literature review on life cycle assessment of transportation alternative fuels. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 1-39. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103343>
- Lombardo, T., Paoli, L., Fernandez Pales, A., y Gül, T. (2025, 5 de marzo). *The battery industry has entered a new phase*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/commentaries/the-battery-industry-has-entered-a-new-phase>
- Mallick, S., y Gayen, D. (2023). Thermal behaviour and thermal runaway propagation in lithium-ion battery systems: A critical review. *Journal of Energy Storage*, 62, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106894>
- Martínez-Lao, J., Montoya F., Montoya M., y Manzano-Agugliaro, F. (2017). Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 970-983. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.239>
- Martínez, R. (2024, 12 de noviembre). EV automotive OEM assembly in Mexico report [Updated for 2025]. *Prodensa*. <https://www.prodensa.com/insights/blog/ev-automotive-oem-assembly-in-mexico-report>
- Mizushima, K., Jones, P. C., Wiseman, P. J., y Goodenough, J. B. (1980). Li_xCoO_2 ($0 < x < 1$): A new cathode material for batteries of high energy density. *Materials Research Bulletin*, 15(6), 783-789. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(80\)90012-4](https://doi.org/10.1016/0025-5408(80)90012-4)

- Mo, T., Li, Y., Lau, K., Poon, C. K., Wu, Y., y Luo, Y. (2022). Trends and emerging technologies for the development of electric vehicles. *Energies*, 15(17), 1-34. <https://doi.org/10.3390/en15176271>
- Moustafa, A. (2024). Three decades of consumers' environmentally friendly vehicles behavior: A comprehensive bibliometric network analysis and future research agenda. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 28, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2024.101287>
- Ortiz, H. (2024). Studying lithium-ion batteries across and beyond companies, states and the environment. *The Extractive Industries and Society*, 17, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101374>
- Pezeshknejad, P., Damon, L., Grajdura, S., y Rowangould, D. (2026). Barriers to electric vehicle home charging and impacts on adoption. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 154(105262), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2026.105262>
- Raad, N., Swain, C., Ayantayo A., Yang B., y Rajendran, S. (2024). Hybrid regret-based p-robust and distributionally robust optimization models for electric vehicle charging station network design. *Computers & Industrial Engineering*, 198(110709), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110709>
- Rietmann, N., y Lieven, T. (2019). A comparison of policy measures promoting electric vehicles in 20 countries. En M. Finger y M. Audouin (Eds.), *The governance of smart transportation systems* (pp. 1-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96526-0_7
- Saaid, F., Kasim, M., Winie, T., Elong, K., Azahidi, A., Basri, N., Yaakob, M., Mastuli, M., Amira Shaffee, S., Zolkiffly, M., y Mahmood, M. (2024). Ni-rich lithium nickel manganese cobalt oxide cathode materials: A review on the synthesis methods and their electrochemical performances. *Heliyon*, 10(1), e23968. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23968>
- Salgado-Conrado, L., Álvarez-Macías, C., Loera-Palomo, R., y García-Contreras, P. (2024). Progress, challenges and opportunities of electromobility in Mexico. *Sustainability*, 16(9), 1-26. <https://doi.org/10.3390/su16093754>
- Sampson, M. (2024). Driving the EV evolution. *Electronics World*, 129(6), 46-50. <https://content.yudu.com/web/69r/0A4417d/EWorldJune2024/html/46.html?page=46>
- Santamarta, J. (2009). El futuro del automóvil es eléctrico. *Técnica Industrial*, 281, 39-42. <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/63/39/a39.pdf>
- Schlüter, J., y Weyer, J. (2019). Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime changes in automobility. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 185-201. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.005>
- Shin, H., y Lee, J. (2024). Unlocking trends in secondary battery technologies: A model based on bidirectional encoder representations from transformers. *The Electricity Journal*, 37(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2024.107438>
- Shirley, D. R. A., Sankari, B. S., Rai, R. S., Janeera, D. A., & Raj, P. A. C. (2022). Smart charging in electric vehicles and its impact on the evolution of travelling. En M. Kathiresh, G. R.

- Kanagachidambaresan y S. S. Williamson (Eds.), *E-mobility. A new era in automotive technology* (pp. 217-232). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85424-9_11
- Singh, G., Misra, S. C., Daultani, Y., y Singh, S. (2024). Electric vehicle adoption and sustainability: Insights from the bibliometric analysis, cluster analysis, and morphology analysis. *Operations Management Research*, 17(3), 635-659. <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00442-y>
- Suomalainen, E., y Colet, F. (2019). A corridor-based approach to estimating the costs of electric vehicle charging infrastructure on highways. *World Electric Vehicle Journal*, 10(4), 1-10. <https://doi.org/10.3390/wevj10040068>
- Van Gossum, P., Ledene L., Arts B., De Vreese R., Van Langenhove G., y Verheyen, K. (2009). New environmental policy instruments to realize forest expansion in Flanders (northern Belgium): A base for smart regulation? *Land Use Policy*, 26(4), 935-946. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.11.005>
- Wirth, E. (2016). Los méritos e inconvenientes de la política de incentivos a la compra de vehículos eléctricos: el caso de Noruega. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 134, 93-104. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5590383.pdf>