

Rigoberto García Ochoa
Antonio Suárez
Angélica Valera Aldana
Maveth P. Romero Gamboa



Transporte público eléctrico: clave para un México sostenible y socialmente equitativo



Transporte público eléctrico: clave para un México sostenible y socialmente equitativo



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Rigoberto García Ochoa

Antonio Suárez

Angélica Valera Aldana

Maveth P. Romero Gamboa

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt)
Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático (Pronace-ECC)



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



PRONACES
ENERGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



Revisión

Luca Ferrari

Corrección de estilo

Andrea González Márquez
Julio Alberto Montoya Lara

Diseño editorial

Arlen Hernández • tallerhojarasca.com
contacto@tallerhojarasca.com



Fotografías

Alejandro El Tecnorrante (p. 5)
Conahcyt (portada)
Eneas De Troya (p. 4)
First Energy (p. 48)
France N. Roseau (p. 11)
Gobierno de la Ciudad de México (p. 49)
Jimena L. Paz Navarro (pp. 3, 6, 47)
Joieman (p. 33)
Marc A. Hermann (p. 9)
Metropolitan Transportation
Authority (p. 50)
Noya Fields (p. 53)
World Bank (p. 32)

Citar como: Ochoa García, R., Suárez, A., Valera Aldana, A. y Romero Gamboa, M.P. (2024). *Transporte público eléctrico: clave para un México sostenible y socialmente equitativo*. México: Pronace ECC-Conahcyt.

“Este cuaderno temático es producto de un proyecto apoyado por el Conahcyt en el año 2024. Los contenidos y el diseño editorial es responsabilidad de las y los colaboradores. El Conahcyt, con el fin de ampliar el acceso a los resultados y productos de los proyectos apoyados, difunde este documento sin que ello represente una postura institucional.”

ISBN en trámite.

Septiembre de 2024.



Contenido

Introducción		5
Electromovilidad en el México del siglo XIX		10
Accesibilidad e inclusión social		17
Medioambiente		25
Impulsando el futuro: ejemplos de éxito en proyectos de electromovilidad		32
Experiencias internacionales		33
Shenzhen, China		33
Oslo, Noruega		35
Londres, Reino Unido		37
Aprendiendo de las experiencias internacionales		38
Electromovilidad en grandes ciudades		38
Incentivos fiscales		41
Infraestructura de carga		43
Gestión de la demanda		43
Visión integral		44
Conclusión		46
Comentarios finales		47
<i>Listado de tablas</i>		49
<i>Listado de figuras</i>		49
<i>Referencias</i>		50

Introducción





Introducción

El auto eléctrico se presenta en la actualidad como un factor disruptivo de lo que, ya en la tercera década del siglo XXI, parece ser una nueva era donde conceptos como eficiencia, tiempo, comodidad, internet, *big data*, automatización y cambio climático están conformando un nuevo modelo de movilidad y conectividad en un mundo cada vez más urbano.

A nivel global, la movilidad eléctrica o electromovilidad es uno de los temas de investigación más actuales y relevantes por tres razones. Primero, representa una innovación tecnológica que está transformando la industria automotriz mundial, una de las ramas industriales con mayor peso económico, social y cultural. Segundo, el consumo energético del sector transporte —basado sobre todo en combustibles fósiles— es una de las principales fuentes no sólo de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales son determinantes clave del cambio climático antropogénico, sino también de contaminantes criterio¹ a nivel local que afectan la salud de la población. De esta manera, se considera que la electromovilidad es una opción sustentable en términos ambientales, ya que, además de promover la eficiencia energética y la diversificación de fuentes de energía renovable, reduce las emisiones de GEI y mejora la calidad del aire al emplear motores eléctricos —que no generan emisiones directas— o motores híbridos —que generan menos emisiones en comparación con los motores de

¹ La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris, 2017) señala que los contaminantes criterio son aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población. La Cofepris añade que se miden de manera continua los contaminantes criterio: ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), las partículas en suspensión (PM₁₀, PM_{2.5}) y el plomo (Pb).

combustión interna. Y, tercero, la electromovilidad y la automatización de los vehículos conllevan temas sociales y culturales que requerirán investigarse, ya que cambiará la forma en que nos relacionamos con el transporte. Estos cambios pueden modificar la concepción que tenemos del espacio urbano y transformar las prácticas de movilidad personal, familiar y colectiva.

Ante esta realidad, es evidente que la mayoría de las investigaciones científicas realizadas en los países desarrollados —y también de los países emergentes, como México— plantean de forma acrítica que la transición hacia la electromovilidad basada en energías renovables es un paso necesario para lograr un balance entre crecimiento económico y urbano, así como para reducir los impactos climáticos locales y globales. Esta visión, que ha permeado en el imaginario social —como se observa en las notas y comentarios que aparecen en medios de comunicación y redes sociales— responde a una lógica muy simple: si el problema es el consumo de gasolina o diésel y los motores eléctricos no emiten directamente contaminantes, ¡la electromovilidad es la solución! No obstante, si bien a primera vista este argumento parece viable, esconde una realidad mucho más compleja que nos permite ponerlo en duda y advertir sobre los riesgos que conlleva.

Por un lado, la visión dominante de la electromovilidad, que consiste en sustituir autos con motor de combustión interna por eléctricos o híbridos, no considera que la movilidad es un tema con profundas implicaciones económicas, sociales y culturales que deben tomarse en cuenta. Por ejemplo, el automóvil, más que un vehículo que utilizamos para trasladarnos de un lugar a otro, se ha convertido también en un símbolo de estatus social, de tal forma que la mayor parte de la población aspira a tener uno, pero no todos pueden tenerlo. Este hecho evidencia una dimensión de desigualdad económica y resalta la importancia de contar con opciones de transporte que sean eficientes y accesibles para garantizar la movilidad y la inclusión de toda la sociedad.

Por otra parte, como lo advierte Attias (2017), en muchas de las grandes ciudades los vehículos se han convertido en automóviles-inmóviles por los largos tiempos y trayectos que realizan los habitantes. Esto incrementa los problemas de congestión debido a la cantidad de automóviles que circulan por las calles, o bien, ocupa el espacio público al quedar estacionados los vehículos por largos periodos en las calles. Este tiempo dedicado a moverse en las ciudades es un tema social importante, ya que afecta la calidad de vida de las personas al ocasionar estrés, enfermedades físicas y psicológicas.

Un análisis somero de la movilidad cotidiana en las ciudades deriva ineludiblemente en cuestionar la visión acrítica que se tiene sobre las ventajas ambientales que ofrece la electromovilidad. Si se considera la cadena de suministro energético de la industria automotriz y del sector transporte en general, y si se aplican metodologías tales como análisis de ciclo de vida o huellas de carbono y energética, se tendrían que contemplar los contaminantes que se generan en toda la cadena para conocer a detalle la reducción en emisiones locales y globales.

En otras palabras, para que la electromovilidad sea sostenible en términos ambientales y no se quede sólo con beneficios potenciales a nivel local de mejora de la calidad del aire, se tiene que garantizar que la electricidad consumida por los automóviles se genere con fuentes renovables de energía. Si se toma en cuenta que la hidroenergía tanto en México como en el mundo tiene un margen estrecho de crecimiento, el futuro suministro energético tendrá que provenir de fuentes no convencionales. Además de las dificultades económicas y políticas que conlleva un objetivo de tal magnitud, tenemos que añadir las cuantiosas inversiones que tendrían que realizarse para construir la infraestructura necesaria de transmisión y distribución que asegure el suministro de electricidad renovable a los automóviles. De esta manera, debemos dejar en claro que sustituir un auto con motor de combustión interna por otro con motor eléctrico no implica unívocamente una reducción de emisiones globales y, además, requiere modernizar e incrementar la capacidad de todo el sistema eléctrico, es decir, generación, transmisión y distribución. Llama la atención que, si bien es de sentido común la consideración de estos temas, el canon científico los ignora o, en el mejor de los casos, los considera marginales.

Con base en estos antecedentes, es necesario emplear una visión crítica, pero constructiva, para proponer alternativas que trasciendan lo que podríamos llamar un determinismo tecnológico. Es decir, la tecnología por sí misma no podrá solucionar los problemas económicos, sociales, políticos y ambientales inherentes a la movilidad. Para ello, se requerirá ineludiblemente de la acción humana, de modo que, con prácticas y actitudes adecuadas, se aprovechen las ventajas que ofrecen las innovaciones tecnológicas.

En esta línea, consideramos esencial incorporar el tema del transporte público a la discusión de la electromovilidad en las ciudades de México. El transporte público es una alternativa al vehículo particular para reducir los costos de transporte, generar menos congestionamientos, atender las demandas

de movilidad de los sectores de población más desfavorecidos, así como lograr una conectividad y movilidad urbana inclusiva y socialmente justa. Por ello, el objetivo de este trabajo es presentar un panorama general sobre cómo la electromovilidad en el transporte público puede contribuir a un desarrollo sostenible en México que sea económica y socialmente más equitativo.

El Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), mediante el Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático (Pronace-ECC), ofrece a la ciudadanía en este cuaderno temático un panorama general sobre la electromovilidad en el transporte público de México. Para ello, iniciamos con un breve repaso histórico sobre el tema en cuestión.



Electromovilidad en el México del siglo XIX





Electromovilidad en el México del siglo XIX

Cuando hablamos de electromovilidad tendemos a pensar que es un tema novedoso surgido a raíz de las innovaciones tecnológicas en la industria automotriz mundial. Si bien es verdad que, justo en la tercera década del siglo XXI es un tema que está en pleno auge, vale la pena destacar que la electromovilidad en el transporte público ha estado presente en México desde principios del siglo XX. Por esta razón, consideramos que el conocimiento histórico de la electromovilidad, por mínimo que sea, es esencial para comprender la realidad actual y, sobre todo, para pensar en cómo la ciencia mexicana puede y debe contribuir a una movilidad sustentable que sea económica y socialmente equitativa.

En esta línea, los avances tecnológicos alcanzados en la conducción de energía eléctrica permitieron, desde finales del siglo XIX, la expansión de los tranvías eléctricos como medio de transporte masivo. El antecesor de los tranvías eléctricos fue el tranvía de caballos que apareció por primera vez a principios del siglo XIX en grandes metrópolis como Nueva York y Londres (Green, 2016). Al depender de la fuerza animal, así como de las condiciones presentes en la infraestructura vial de las ciudades, estos sistemas eran limitados en velocidad y alcance. Pero un gran cambio tecnológico se produjo en la década de 1880 con la aparición de la tracción eléctrica. Fue en 1888, en Richmond, Virginia, donde empezó a operar a nivel comercial el primer tranvía eléctrico, el cual aprovechaba las ventajas del uso de este tipo de energía al proporcionar un medio de transporte silencioso y eficiente (Naugle, 1932). A partir de ese momento el tranvía eléctrico se convirtió en el medio de transporte por excelencia en las principales ciudades del mundo.

En el caso de México, los tranvías desempeñaron un papel importante en el desarrollo del transporte público durante el siglo XIX y principios del XX. Su introducción marcó un acontecimiento en la modernización de las ciudades mexicanas y contribuyó de modo significativo a la movilidad urbana de la época. El primer tranvía se inauguró en 1859 en la Ciudad de México, donde operaba por tracción animal de mulas o caballos, por lo que se conocía como *ferrocarril o tren de mulitas*. El término ferrocarril, como lo comenta Aguayo (2016), era el de uso común para designar este tipo de transporte, ya que compartían la tecnología ferroviaria; no fue sino hasta 1873 que empezó a utilizarse el término tranvía, que proviene del inglés *tramway*. Los ferrocarriles —que se movían por máquinas de vapor— recorrían grandes distancias y las estaciones se ubicaban en la periferia de las ciudades. Los tranvías, por el contrario, transitaban por vías tendidas en las calles para hacer recorridos al interior de las ciudades y hacia comunidades aledañas, impulsados por mulas, en ocasiones por máquinas de valor y, más tarde, con electricidad (Ibarra y Becerril, 2022).

En la década de 1890 se inauguraron 35 líneas de tranvía con tracción animal: 17 urbanas y 18 suburbanas (tabla 1). Para tener una idea del crecimiento de este medio de transporte colectivo, mientras que en 1873 la Ciudad de México contaba con 38 kilómetros de vía y transportaba tres millones de pasajeros por año, en 1894 estaban instalados 211 kilómetros de vías y viajaban 16 millones de usuarios al año (Aguayo, 2016). El transporte público de pasajeros era el principal servicio que brindaban, no obstante, había otros que reportaban cuantiosas ganancias para la compañía propietaria de los tranvías, como los servicios funerarios y el transporte de carga. A finales del siglo XIX el tranvía se convirtió en un símbolo de progreso y modernización que formaba parte de la vida cotidiana en la Ciudad de México, así como en las principales ciudades del país: Guadalajara, Monterrey y Puebla. Al ser un medio de transporte accesible y eficiente, transformó el paisaje urbano y conectó barrios distantes con áreas comerciales e industriales.

TABLA 1. Líneas de tranvía en operación en la Ciudad de México en 1896

Urbanas	Suburbanas
Peralvillo-Belén	Zócalo-Tlalnepantla
Condesa-Zócalo	Zócalo-Azcapotzalco
Colonia-Zócalo	Zócalo-Tacuba
Escuela de Tepo-Zócalo	Zócalo-Panteón Español
Guerrero-San Lázaro	Zócalo-Xochimilco
Hospital General-Zócalo	Zócalo-Tlalpan
Martínez de la Torre-Zócalo	Zócalo-San Ángel Churubusco
Penitenciaria-Niño Perdido	Zócalo-Ixtapalapa
Roma por Oaxaca-Zócalo	Zócalo-Línea del Peñón
Roma por La Piedad-Zócalo	Zócalo-La Piedad
San Rafael-Zócalo	Zócalo-Guadalupe
Santa María-Zócalo	Zócalo-Tizapán
Santa María cruzaba Alameda-Rastro-Zócalo	Zócalo-San Ángel
Zaragoza-Zócalo	Zócalo-Mixcoac
Don Toribio-Santiago	Zócalo-Tacubaya
Juárez-Loreto circuito 1	Zócalo-Dolores
Juárez-Loreto circuito 2	Zócalo-Santa Fe
	Zócalo-Valle

Fuente: Camarena (1991).



El tranvía de tracción animal en México fue una forma común de transporte urbano a finales del siglo XIX y principios del XX. Tirados por caballos, estos tranvías recorrían las calles de ciudades como Ciudad de México, Guadalajara y Puebla, brindando una alternativa de movilidad a los ciudadanos. Su presencia en el paisaje urbano se asociaba con un ritmo más pausado y pintoresco. Sin embargo, con la llegada de tecnologías más avanzadas, como los tranvías eléctricos y los automóviles, el tranvía de tracción animal fue gradualmente reemplazado, convirtiéndose en un recuerdo de una era pasada.

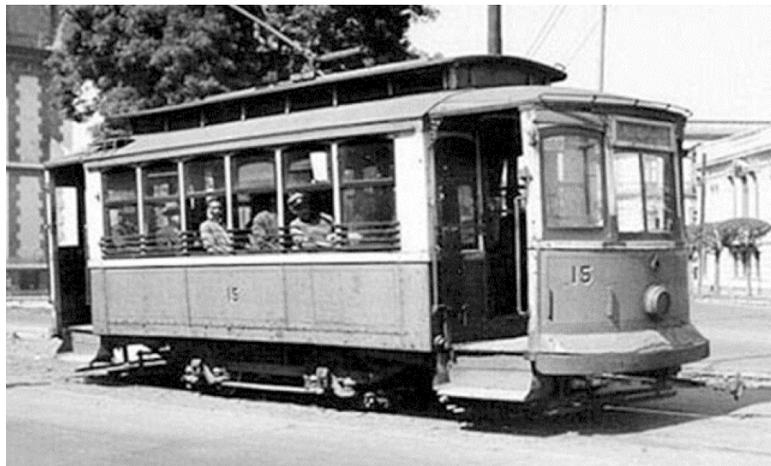


FIGURA 1. Del tren de mulitas al tranvía eléctrico. Fuente: elaboración propia con base en Camarena (1991) y Aguayo (1998 y 2016).

Cuando finalizaba el siglo XIX, se autorizó el uso de tranvías eléctricos y el 15 de enero de 1900, justo al inicio del siglo XX, se inauguró el primer sistema de tranvías eléctricos en la Ciudad de México, cubriendo la ruta México-Tacubaya; al finalizar ese año ya estaban operando también las rutas México-Guadalupe, Peralvillo Belén, Tacubaya-Mixcoac, México-Tlalpan y Chapultepec-Dolores; para 1903, se agregaron las líneas San Lázaro, Zaragoza-Congreso y San Rafael (Camarena, 1991). El apogeo de los tranvías eléctricos durante toda la primera mitad del siglo XX reforzó su estatus como símbolo de progreso y modernidad, al permitir a la población realizar sus viajes intraurbanos. Además, el tranvía eléctrico fue clave para el crecimiento de las ciudades y para conectar núcleos urbanos con localidades periféricas.²

El auge del tranvía eléctrico se interrumpió durante la Revolución Mexicana, con periodos alternados de auge y declive a partir de 1920 debido a la penetración gradual de automóviles y autobuses. La consolidación de estos medios de transporte y, sobre todo, su dependencia de los combustibles fósiles cambiaron el panorama de la movilidad urbana. La gasolina y el diésel fueron desplazando a la electricidad en los medios de transporte durante el siglo XX y, aunque en 1930 aparecieron los trolebuses —medio de transporte que opera con electricidad y que todavía funciona en la Ciudad de México y Guadalajara—, la gran mayoría del transporte público en el país opera en la actualidad con motores de combustión interna.³

A partir de la década de 1950 muchos sistemas de tranvías eléctricos fueron cerrados o reemplazados por autobuses y automóviles, proceso que terminó en la Ciudad de México en 1986 con la desaparición de este medio de transporte. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2024), en la actualidad hay alrededor de 185 mil unidades de transporte

² Los tranvías no sólo transformaron la movilidad en las ciudades, sino que también inspiraron obras literarias, pinturas y fotografías que capturaron la vida cotidiana de la sociedad mexicana. Por ejemplo, el poeta mexicano Manuel Gutiérrez Nájera escribió un cuento titulado *La novela del tranvía*, en el cual explora la vida urbana, historias de pasajeros y el descubrimiento de nuevos lugares de la Ciudad de México a finales del siglo XIX. Otro caso importante es la película mexicana *La ilusión viaja en tranvía*, filmada en 1955 y dirigida por el célebre director Luis Buñuel, donde se relatan temas económicos, sociales, religiosos y políticos del México de mediados del siglo XX, a partir de la interacción que se da entre personas de diferentes estratos sociales cuando viajan en un tranvía eléctrico.

³ Si bien los tranvías y trolebuses se alimentan de electricidad mediante cables aéreos, los primeros se desplazan sobre rieles mientras que los segundos circulan sobre neumáticos, por lo que pueden cambiar de ruta.

público, de las cuales casi todas operan con motores de combustión interna. Si bien no hay información oficial sobre el consumo de electricidad del transporte público, la Secretaría de Energía (Sener, 2023, p. 184) informa que el sector transporte en su totalidad consume 1,550 gigavatios-hora (GWh) al año, lo cual equivale a sólo 0.2 % del consumo de energía total del sector. Esto significa que, en el presente, la participación de la electricidad en el consumo energético del sector transporte en México es marginal, no sólo para el transporte público sino para el sector en general.

Este breve repaso histórico confirma que la electromovilidad en el transporte público ha sido un tema presente en México desde inicios del siglo XX. Los tranvías eléctricos son parte de la historia de las principales ciudades del país, ya que fueron piezas clave de la transformación del paisaje urbano. Y si bien en la tercera década del siglo XXI la electromovilidad en México —y en el mundo en general— es todavía marginal, las proyecciones indican que este escenario cambiará radicalmente en el mediano plazo con la aparición de los autos eléctricos. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), se espera un crecimiento continuo en la adopción de vehículos eléctricos durante los próximos años (IEA, 2024).⁴

Cabe aclarar que si bien China, Europa y Estados Unidos son los líderes en ventas de automóviles eléctricos, en los países en desarrollo —como México— las ventas aún no despegan. El apoyo político, el número de modelos disponibles, los precios de los minerales críticos necesarios para la fabricación de las baterías y las interrupciones en la cadena de suministro debido a los conflictos geopolíticos y a la pandemia de covid-19 son algunos de los obstáculos que habría que superar para lograr que los autos eléctricos sean asequibles para la mayoría de la población.

El punto clave que queremos destacar es que, si bien las innovaciones tecnológicas en materia de electromovilidad parecen ya una realidad que tarde o temprano se materializará en México, y que si bien este tipo de tecnología es vista como una suerte de solución para mitigar las emisiones globales de CO₂ que están causando el cambio climático antropogénico —así como otras emisiones de ámbito local—, hay otros temas que deben tomarse en cuenta

⁴ Por ejemplo, en 2021 las ventas de automóviles eléctricos, incluyendo los completamente eléctricos y los híbridos enchufables, se duplicaron hasta alcanzar un nuevo récord de 6.6 millones. Este aumento continuó en el primer trimestre de 2022, con 2 millones de automóviles eléctricos vendidos en todo el mundo, un aumento del 75 % respecto al mismo periodo del año anterior.

para analizar de manera integral los efectos económicos, sociales y ambientales de la electromovilidad. Nos enfocaremos en dos puntos específicos. El primero es la inclusión social relacionada con la movilidad, ya que, aunque el acceso de la población a medios de transporte ha mejorado, hay todavía segmentos excluidos de un medio de transporte asequible y, además, la calidad de la movilidad en términos de tiempos de traslado y congestión vial afecta a las personas que viven en grandes ciudades. El segundo son las ventajas ambientales derivadas de la electromovilidad, pues consideramos necesario analizar críticamente la cadena de suministro de la electromovilidad para conocer de manera extensa las emisiones globales y locales derivadas. En concordancia con el objetivo de este trabajo, el abordaje de estos dos temas hace evidente la importancia del transporte público para alcanzar una movilidad accesible, asequible y sostenible en México.

Accesibilidad e inclusión social

Las opciones de transporte para la movilidad de las personas han aumentado a lo largo del tiempo, y han transformado tanto los desplazamientos en las ciudades como su impacto en las mismas. En la actualidad, el mercado automotriz ofrece una gran variedad de marcas y modelos de vehículos que atienden las necesidades y preferencias de los consumidores. En términos de autotransporte, existen por ejemplo automóviles compactos, vehículos deportivos o camionetas cada vez más grandes. En el transporte público, hay autobuses, trolebuses, metro, tren ligero, teleféricos y tranvías. Otras modalidades son los taxis, los colectivos, las aplicaciones de transporte compartido, las motocicletas y las bicicletas —que también requieren de infraestructura pública para el transporte individualizado—, así como la movilidad peatonal.

Es evidente que las innovaciones tecnológicas en movilidad han ampliado las opciones de transporte y han mejorado la accesibilidad. En este contexto, la novedad en la tercera década del siglo XXI es la electromovilidad. Los autos eléctricos empiezan a penetrar en los mercados —en especial en los de los países desarrollados—, pero esta mayor accesibilidad no ha sido igual para todos. Los datos de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA, 2024) muestran que en 2022 se vendieron 1,094,728 automóviles en México, de los cuales sólo 4.7% fueron vehículos híbridos o eléctricos, es decir, 51,065

vehículos. De este total, 80% son híbridos, 11% eléctricos y el resto son híbridos conectables (AMIA, 2024). Hay varios factores que determinan la proporción marginal en las ventas de autos eléctricos en México. Si bien los costos de producción están disminuyendo de manera gradual, el precio inicial sigue siendo más alto en comparación con los vehículos de combustión interna, por lo que esta tecnología todavía es inaccesible para la mayoría de la población. Además de la barrera económica, hay otros factores que inhiben la penetración masiva de los vehículos eléctricos, como una infraestructura de carga insuficiente, la autonomía limitada de las baterías, la falta de opciones en los modelos y factores culturales como la desconfianza o preocupaciones por el funcionamiento y tiempo de vida de estos autos.

Las barreras económicas, tecnológicas, culturales y de infraestructura que acabamos de señalar muestran que la accesibilidad a los autos eléctricos es todavía muy limitada. Sin embargo, con independencia del nivel de penetración de la electromovilidad en México, consideramos necesario incorporar una visión más amplia de la accesibilidad. Es muy probable que la masificación de los automóviles eléctricos ocurra en el mediano plazo, pero esto no significa que se mejoren los problemas que ocasionan la congestión vehicular y los tiempos de traslado. Es en este sentido que el transporte público seguirá siendo fundamental para la vida urbana. Por este motivo, la ciencia mexicana debe comprometerse a contribuir en el avance del conocimiento universal, con la generación de conocimiento teórico y empírico de pertinencia nacional para que esta opción de movilidad sea una alternativa eficiente y sostenible al transporte privado, así como para que se promueva la inclusión en el acceso a la movilidad para quienes no poseen vehículos propios.

La electromovilidad representa una evolución significativa en el sector del transporte, ya que ofrece alternativas más limpias y eficientes a los vehículos tradicionales de combustión interna. Se distinguen tres tipos principales de vehículos eléctricos: híbridos, híbridos conectables y completamente eléctricos.

Vehículos híbridos:

Los vehículos híbridos combinan un motor de combustión interna con uno o más motores eléctricos. Estos motores trabajan en conjunto para propulsar el vehículo, consiguen una mayor eficiencia en el consumo de combustible y reducen las emisiones en comparación con los vehículos convencionales. Los híbridos no necesitan ser enchufados para recargar sus baterías, ya que éstas se recargan mediante la energía cinética generada durante la conducción y a través del sistema de frenado regenerativo.

Vehículos híbridos conectables:

Los vehículos híbridos conectables (*PHEV*, por sus siglas en inglés) son similares a los híbridos convencionales, pero cuentan con baterías de mayor capacidad y la posibilidad de recargarse al enchufarlos a una toma de corriente externa. Esto permite una mayor autonomía en modo eléctrico puro, así como una reducción aún mayor de las emisiones.

Vehículos eléctricos:

Los vehículos eléctricos (*EV*, por sus siglas en inglés) funcionan exclusivamente con motores eléctricos alimentados por baterías recargables. Estos vehículos no generan emisiones directas y ofrecen una conducción silenciosa y suave. Su autonomía y tiempo de recarga ha experimentado grandes mejoras en los últimos años, lo que los convierte en una opción cada vez más viable y popular para los consumidores preocupados por el medio ambiente.

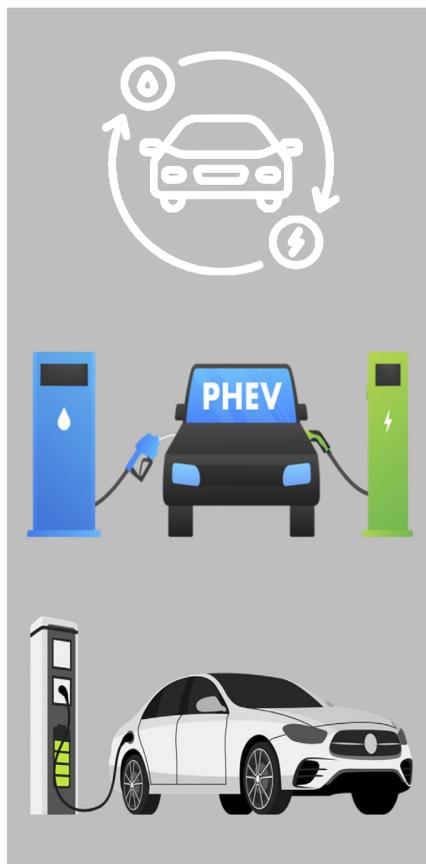


FIGURA 2. Descripción general de automóviles eléctricos. Fuente: elaboración propia.

Del total de la población ocupada en México —que se acerca a los 46.5 millones—, cerca del 41% usa transporte público, el 36.1% emplea vehículos particulares o taxis y el 32.3% se traslada caminando o en bicicleta (tabla 2).⁵

TABLA 2. Medio de traslado de la población de 12 años o más ocupada en México (2020)

Entidad federativa	Población de 12 años o más ocupada ⁶	Caminando o bicicleta	Transporte público	Vehículo particular o taxi	Otro
Estados Unidos Mexicanos	46,414,145	32.3	40.9	36.1	2.1
01 Aguascalientes	574,453	29.4	32.0	49.9	0.9
02 Baja California	1,621,265	15.1	36.2	54.2	1.2
03 Baja California Sur	336,688	16.2	34.4	53.6	1.8
04 Campeche	335,404	29.4	28.0	43.5	6.1
05 Coahuila de Zaragoza	1,140,732	18.2	39.0	45.6	1.5
06 Colima	311,589	25.6	30.5	49.8	1.1
07 Chiapas	1,612,076	57.1	26.5	19.1	2.9
08 Chihuahua	1,455,906	16.5	33.8	54.3	1.1
09 Ciudad de México	3,905,797	34.0	67.3	28.9	1.4
10 Durango	616,034	33.5	29.5	41.1	2.6
11 Guanajuato	2,259,315	36.0	36.0	34.5	1.3
12 Guerrero	1,106,285	45.4	37.0	21.4	3.3
13 Hidalgo	1,092,370	43.3	38.9	27.4	1.4
14 Jalisco	3,311,553	27.9	37.2	40.9	1.4
15 México	6,246,114	31.9	58.7	25.7	1.8
16 Michoacán de Ocampo	1,665,263	38.7	29.4	38.3	1.8

⁵ Cabe destacar que los resultados presentados en el cuadro 2 corresponden al año 2020, justo en la etapa de pandemia, por lo que existe la posibilidad de un sesgo en las preferencias de movilidad reportadas por la población de México. Habrá que esperar los resultados de la Encuesta Intercensal 2025 que aplicará el INEGI para llevar a cabo análisis más exhaustivos sobre este tema.

⁶ El estudio del INEGI considera que a partir de dicha edad es cuando parte de la población comienza a desplazarse de manera autónoma.

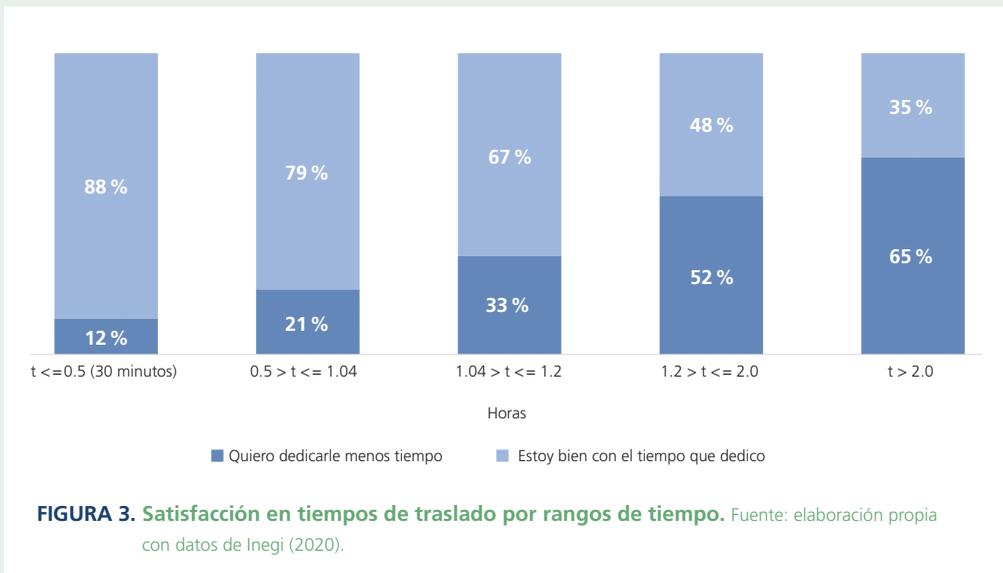
17 Morelos	764,009	34.9	42.1	32.5	2.0
19 Nuevo León	2,284,380	16.6	45.1	45.5	1.2
20 Oaxaca	1,298,497	54.4	24.7	24.7	5.5
21 Puebla	2,322,052	44.1	39.3	23.1	2.2
22 Querétaro	928,605	23.5	38.3	43.0	1.4
23 Quintana Roo	766,623	23.1	47.7	38.9	1.9
24 San Luis Potosí	1,019,160	31.8	32.4	40.0	1.8
25 Sinaloa	1,116,076	23.1	32.8	49.9	1.6
26 Sonora	1,112,152	19.1	30.7	54.0	1.9
27 Tabasco	782,850	32.3	36.1	33.4	6.0
28 Tamaulipas	1,338,066	20.2	34.3	50.4	1.8
29 Tlaxcala	466,655	42.4	46.7	19.8	1.7
30 Veracruz de Ignacio de la Llave	2,737,498	43.5	29.7	33.2	3.0
31 Yucatán	898,806	29.4	33.4	44.9	4.6
32 Zacatecas	527,720	37.5	23.2+	44.4	2.5

Fuente: elaboración propia con información de Inegi (2021).

Al examinar los datos a nivel estatal se observa que hay profundas diferencias. Por ejemplo, nótese cómo 67.3 % de la población ocupada en la Ciudad de México usa el transporte público, lo cual coincide con la gran diversidad de medios que se ofrece a la población: metro, metrobús, autobuses de la red de transporte de pasajeros, trolebús, tren ligero y tren suburbano. La Ciudad de México es por mucho la que presenta el valor más alto en el uso del transporte público, seguida por el Estado de México (58.7%), resultados que se asocian con la metropolización de esta zona en la cual habitan más de 21 millones de personas. Por el contrario, Zacatecas (23.2%), Oaxaca (24.7%) y Chiapas (26.5%) son las entidades con la menor proporción de uso del transporte público, y estas dos últimas entidades ocupan los primeros lugares en desplazamientos a pie y en bicicleta como medios de transporte. Por otra parte, llama la atención que más de la mitad de la población ocupada de Chihuahua, Sonora, Baja California y Baja California Sur —entidades que se localizan en la

región norte del país— usan vehículos particulares. Estos datos confirman la importancia del transporte público como un medio que brinda accesibilidad a la movilidad de las personas, así como de otros medios alternativos al vehículo particular, como andar en bicicleta y caminar.

El tiempo que se dedica a los traslados es un indicador que consideramos clave para el bienestar de las personas. En México, una de cada tres personas se siente insatisfecha por el tiempo que dedica a los viajes al trabajo o a la escuela (Inegi, 2020). Al agrupar a este segmento de la población de acuerdo con sus tiempos de traslado diarios (figura 3), vemos que 65% de las personas que pertenecen al grupo con los tiempos más extensos —más de dos horas— quieren reducir la duración de sus viajes, mientras que 52% del grupo que le sigue —de 1.2 a 2 horas— expresó la misma opinión. Esta proporción se reduce de forma gradual de entre los grupos, pero vemos cómo incluso una de cada tres personas de quienes dedican entre una y una hora con 20 minutos quisiera también reducir sus tiempos de traslado.



Si nos enfocamos en la población ocupada que dedica dos o más horas a sus trayectos hogar-trabajo, que en total suman poco más de 9.8 millones de habitantes, encontramos que 59% de este total vive en ciudades grandes y 11% en ciudades pequeñas (figura 4). Hay una clara relación entre lo urbano y los tiempos de traslado, ya que 70% de este segmento de población —que es el grupo más afectado en el sentido que dispone de menos tiempo para realizar otras actividades— vive en localidades urbanas. No obstante, llama la atención que el 30% restante, cerca de 2.9 millones de personas, viva en localidades rurales o urbano-rurales, es decir, localidades menores a los 15 mil habitantes.

Resulta claro entonces que los viajes hogar-trabajo varían según el tamaño de las localidades. Los trayectos prolongados en las ciudades mexicanas pueden deberse al tráfico vehicular, a la distancia de dichos trayectos, a la infraestructura vial, así como a un servicio deficiente de transporte público. En contraste, en pueblos pequeños los desplazamientos suelen ser más cortos y rápidos, con menor congestión vial. Sin embargo, esto también depende de la infraestructura de transporte disponible y de las opciones de movilidad. En áreas suburbanas, la distancia media puede estar en un término medio. En última instancia, la eficiencia del tiempo de viaje influye en la productividad laboral y el bienestar de la población.

¿Cuál es el rango de tiempo aceptable para los traslados en cualquier medio de transporte? Varios estudios comprueban la relación entre tiempos de traslado largos y pautas de comportamiento que se convierten en factores de riesgo para la salud de las personas, ya que se reducen las actividades de ocio y el tiempo que se dedica a la familia (Christian, 2012a y 2012b; Tajalli y Hajbabaie, 2017; Dinu *et al.*, 2019). Si bien no hay un tiempo específico que nos permita sugerir un umbral máximo para los traslados debido a la intervención de otros factores —como lo mencionamos en el párrafo anterior—, es claro es que la mayoría de la población no se siente satisfecha cuando dedica más de dos horas al día a esta actividad.

Debido a lo anterior, en fechas recientes una serie de programas y organismos internacionales están impulsando la propuesta de *ciudades de 15 minutos*. El programa Hábitat de Naciones Unidas, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), así como las redes C40 Cities Climate Leadership Group y Eurocities son algunos ejemplos de dichas organizaciones. El objetivo de esta propuesta es transformar las ciudades para que los lugares de trabajo, espacios públicos, áreas verdes y servicios básicos estén a 15 minutos de distancia, ya sea caminando o en bicicleta, del lugar donde viven las personas.

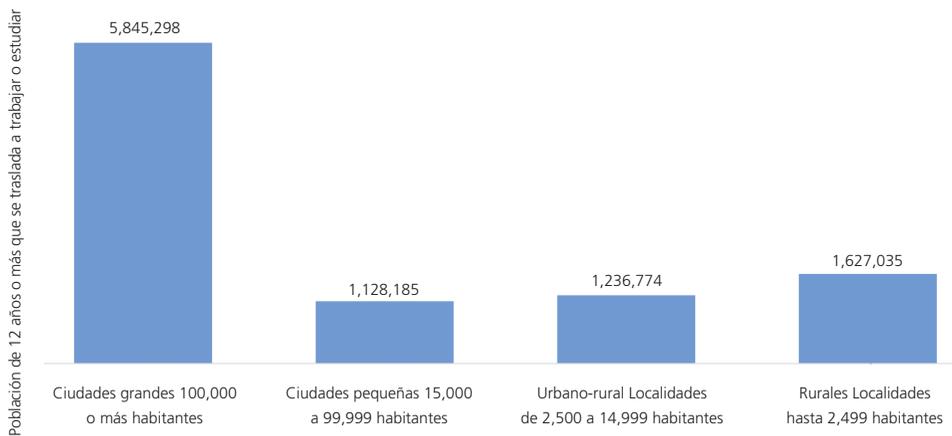


FIGURA 4. Población de 12 años o más ocupada por tiempo de traslado y tamaño de localidad.

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2020).

Los defensores de las ciudades de 15 minutos sostienen que estas medidas mejorarían de forma sustantiva la calidad de vida de sus habitantes, ya que, al reducirse los tiempos de desplazamiento, habría una mayor interacción social, se mejoraría el acceso a los distintos servicios que brindan las ciudades, y se reducirían los contaminantes tanto locales como globales, estos últimos relacionados con el cambio climático. Sin embargo, esta propuesta ha recibido muchas críticas que ponen en tela de juicio su viabilidad, ya que implica una homogeneización que no reconoce las particularidades económicas, sociales, políticas y espaciales de las ciudades. Si tomamos en cuenta estas particularidades, este tipo de transformación urbana ocasionaría costos excesivos, en especial para las ciudades con mayor densidad poblacional, donde se requería una remodelación completa. Otra crítica común es la preocupación por la segregación socioeconómica que podría surgir como resultado de la implementación de esta propuesta. Esto último se debe a que las ciudades de 15 minutos podrían favorecer a las áreas privilegiadas o de clase alta, mientras que las comunidades más desfavorecidas podrían no recibir los mismos beneficios debido a la falta de inversión en infraestructura.

En resumen, aunque la electromovilidad avanza y aunque es muy probable que en pocos años se comercialicen de forma masiva los autos eléctricos, la mejora, impulso e incremento del transporte público que además sea eléctrico o de bajas emisiones se vuelve cada vez más esencial para mejorar la accesibilidad e inclusión social de quienes no posean vehículos particulares, así como para reducir la congestión de tráfico, los tiempos de traslado y las contingencias ambientales, mejorando al mismo tiempo la calidad del aire. El transporte público también es vital en áreas rurales y suburbanas, donde la electromovilidad quizás no sea tan accesible y, como lo pudimos comprobar, hay una cantidad significativa de personas que dedican horas diarias de sus vidas a realizar largos trayectos. El reto para el transporte público es que sea eficiente, limpio, seguro y accesible para el pueblo de México y, que aprovechando las innovaciones tecnológicas, pueda conformarse por unidades fabricadas preferentemente en el país y que operen con motores eléctricos y componentes en su mayoría nacionales.

Medioambiente

La electromovilidad se ha promovido como la solución definitiva para los problemas ambientales derivados del consumo de combustibles fósiles en el sector transporte. Esta visión sugiere que la adopción masiva de vehículos eléctricos reducirá de forma significativa las emisiones de GEI y otros contaminantes locales. Sin embargo, aunque la electromovilidad representa un avance tecnológico significativo con potenciales beneficios ambientales, es crucial adoptar una perspectiva crítica y considerar los problemas asociados a su implementación, en especial en el contexto de países en desarrollo como México.

La principal ventaja ambiental de los vehículos eléctricos es su potencial para reducir las emisiones directas de dióxido de carbono, otros GEI —como el metano y el óxido nitroso—, así como contaminantes locales tales como el monóxido de carbono, los hidrocarburos, el óxido de nitrógeno, el dióxido de azufre y las partículas suspendidas (PMs), entre otros. Este potencial de reducción tiene una gran importancia, ya que las emisiones procedentes del autotransporte siguen creciendo de forma significativa. Sólo en el periodo 1990-2021, éstas incrementaron en 61% (figura 5), al pasar de 86,558 a 139,155 gigagramos de

dióxido de carbono equivalente (GgCO₂e).⁷ Además, el autotransporte, junto con la generación de electricidad y vapor, son las dos principales fuentes de GEI que se generan en México. No obstante, debe considerarse que, para que la sustitución de autos con motores de combustión interna por autos eléctricos tenga un impacto significativo en la reducción de emisiones, la electricidad utilizada debe generarse sobre todo con fuentes limpias.

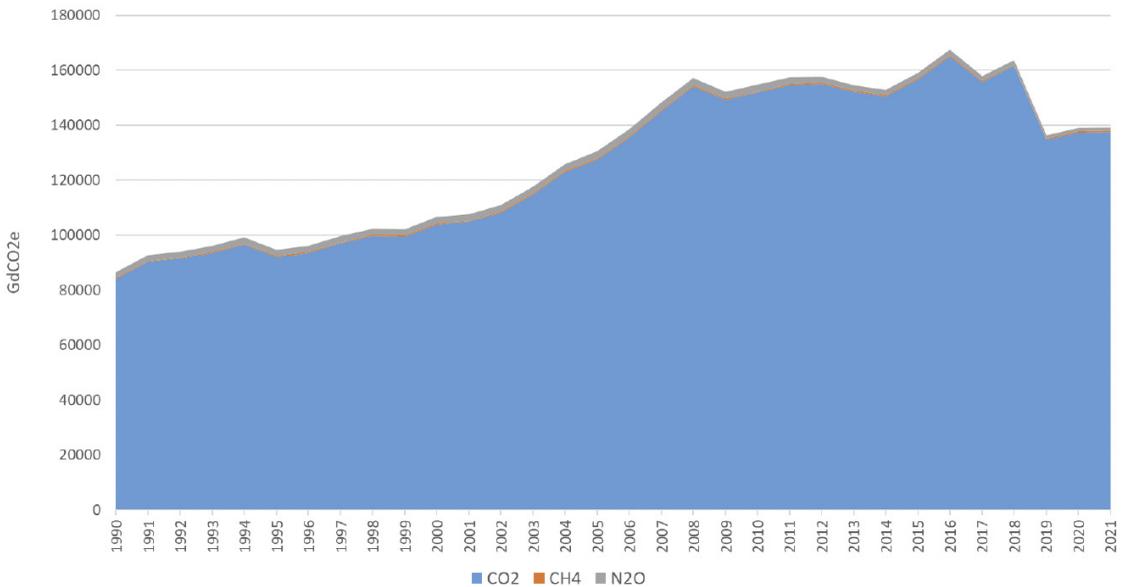
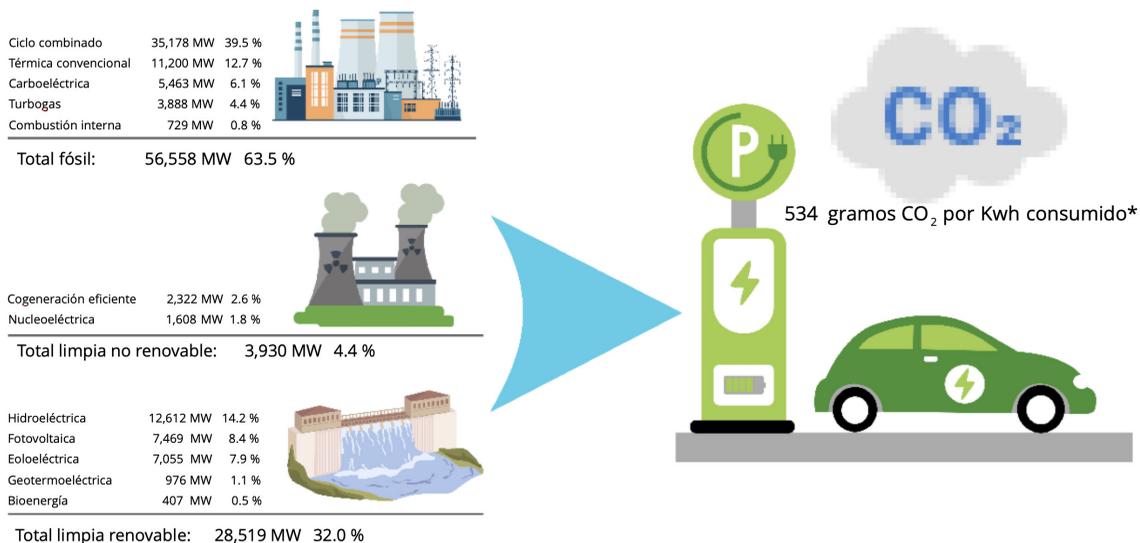


FIGURA 5. Emisiones CO₂e del sector autotransporte en México (1990-2021). Fuente: elaboración propia con datos del Inecc (2024).

⁷ Casi la totalidad de estas emisiones corresponden a dióxido de carbono (CO₂), junto con una parte marginal de óxido nítrico (N₂O) y metano (CH₄).

En la actualidad, por cada kilowatt-hora de electricidad que consume un automóvil eléctrico en México de la red de suministro público, se emiten a la atmósfera 534 gramos de CO₂, ya que 63.5% de la capacidad total instalada en el sistema eléctrico nacional genera electricidad con recursos fósiles (figura 6). Si bien estas emisiones no salen del escape de los automóviles, lo importante es que, de una forma u otra, se generan en las centrales eléctricas y llegan a la atmósfera.



* Este valor se calculó con base en el factor de emisión oficial proporcionado por el Cenace correspondiente al año 2023, y se incorporaron las pérdidas de transmisión y distribución que en 2023 alcanzó un 12.3 por ciento (Cenace 2024).

FIGURA 6. Emisiones indirectas de un automóvil eléctrico por unidad de energía eléctrica. Fuente: elaboración propia con información recabada de Sener (2024), Cenace (2024) y SIE (2024).

Para tener una idea sobre la diferencia real de emisiones procedentes de la movilidad entre un auto eléctrico y otro de combustión interna, el primero emite de manera indirecta 10.8 KgCO₂ por cada 100 Km recorridos, y el segundo 19.2 KgCO₂. La diferencia es significativa, pero el tema clave aquí es advertir sobre esta huella de carbono incorporada a la electromovilidad. Este hecho tan claro, pero que muchas veces obvian los ambientalistas entusiastas de la electromovilidad, implica que el uso de autos eléctricos contiene una huella de carbono, a menos, claro está, que la energía consumida se genere en su totalidad con recursos renovables.

En este sentido, el Gobierno de México está desarrollando la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME), cuyo objetivo es “...establecer las bases y pautas ambientales, técnicas, tecnológicas, financieras, legales, institucionales y administrativas que permitan posicionar a la movilidad eléctrica a nivel nacional como una alternativa viable y sustentable para la reducción efectiva de gases de efecto invernadero y de emisiones contaminantes” (Semarnat, 2023, p. 6). Esta estrategia plantea metas ambiciosas en materia de electromovilidad, como, por ejemplo, que en 2030 la mitad de las ventas de automóviles sean eléctricos o híbridos conectables, y que en 2040 el total de las ventas corresponda a este tipo de vehículos. Si se toma en cuenta el mercado actual de autos eléctricos,⁸ será muy difícil alcanzar dichas metas, al menos las que corresponden a 2030.

Ante esta situación y, después de consultar la tendencia histórica de la venta de automóviles y el producto interno bruto, así como de recabar información sobre la opinión de los distribuidores de autos en México, construimos un escenario más realista para estimar el beneficio ambiental procedente de la penetración de autos eléctricos en México, tal y como se muestra en la figura 7.⁹ Los resultados muestran que en 2030 se alcanzarían las 2,246,196 TonCO₂, de las cuales 88 % son emisiones directas —combustión interna e híbridos—, y el resto son emisiones indirectas —se generan en las centrales eléctricas. Cabe destacar que la reducción observada en el periodo 2016-2023 se debe al declive en la venta de automóviles, ya que en 2016 se vendió un total de 5,071,038 unidades, mientras que en 2022 fueron 3,797,341 unidades. Los bajos niveles del producto interno bruto per cápita en dicho periodo, aunado a la pandemia

⁸ Como se comentó en la introducción, en 2022 se vendieron 1,043,663 automóviles en México, de los cuales 95 % fueron de combustión interna, 4 % fueron híbridos y el 1 % restante fueron híbridos conectables o eléctricos (AMIA, 2024).

⁹ La modificación clave que hicimos a las metas de la ENME es que para 2030 se considera que la mitad de los autos vendidos sean híbridos, híbridos conectables y eléctricos, mientras que la de 2040 quedó igual.

de covid-19, son los factores que a nuestro juicio explican esta reducción. El escenario prospectivo inicia a partir de 2023, y como resultado se obtiene que en 2030 el nivel de emisiones será ligeramente superior al de 2022, pero en 2040 sí se observa una reducción sustancial, al alcanzar las 2,869,197 TonCO₂, de las cuales 90% son emisiones indirectas.

Nuestro análisis evidencia que la incorporación gradual de autos eléctricos al mercado nacional traerá beneficios ambientales significativos en lo que refiere a la reducción de contaminantes globales y locales.¹⁰ No obstante, también se evidencia que, al considerar la cadena de suministro de la energía eléctrica, hay impactos ambientales que deben tomarse en cuenta para conocer con mayor precisión los efectos ambientales totales. Destacamos también que estos resultados se enmarcan en un escenario meramente indicativo y que, para lograrse, se tendrían que cumplir todos los supuestos incorporados, lo que podría ser muy difícil. Por otra parte, la producción de baterías para vehículos eléctricos implica un proceso intensivo en recursos y energía. La extracción de minerales esenciales —como litio, cobalto y níquel— conlleva importantes costos ambientales y sociales. La minería de estos materiales puede causar daños significativos a los ecosistemas locales y a las comunidades, además de generar emisiones de GEI. La gestión de residuos y el reciclaje de baterías también representan desafíos considerables que deben ser abordados para minimizar el impacto ambiental de la electromovilidad.

Se debe considerar también que es crucial legislar sobre la importación de autos usados para asegurar que los beneficios ambientales derivados de la electromovilidad no se vean comprometidos. La entrada masiva de vehículos usados —muchos de ellos con tecnologías obsoletas y altas emisiones contaminantes— puede contrarrestar los avances en la adopción de vehículos eléctricos y la mejora de la calidad del aire. Sin una regulación adecuada, la tendencia actual podría perpetuar un parque vehicular ineficiente y contaminante, frenando los esfuerzos por reducir las emisiones de GEI y mejorar la salud pública. Es imperativo que se implementen políticas que limiten la importación de vehículos usados y promuevan la renovación del parque vehicular con opciones más limpias y sostenibles, alineadas con los objetivos nacionales e internacionales de combate al cambio climático.

¹⁰ El objetivo de este cuaderno temático se enfoca en vincular la electromovilidad en el transporte público con la transición energética y el cambio climático, por lo que nuestro escenario sólo considera las emisiones globales, aunque damos por hecho los beneficios ambientales en lo que refiere a contaminantes locales, un tema de gran relevancia ambiental y social en las ciudades de México.

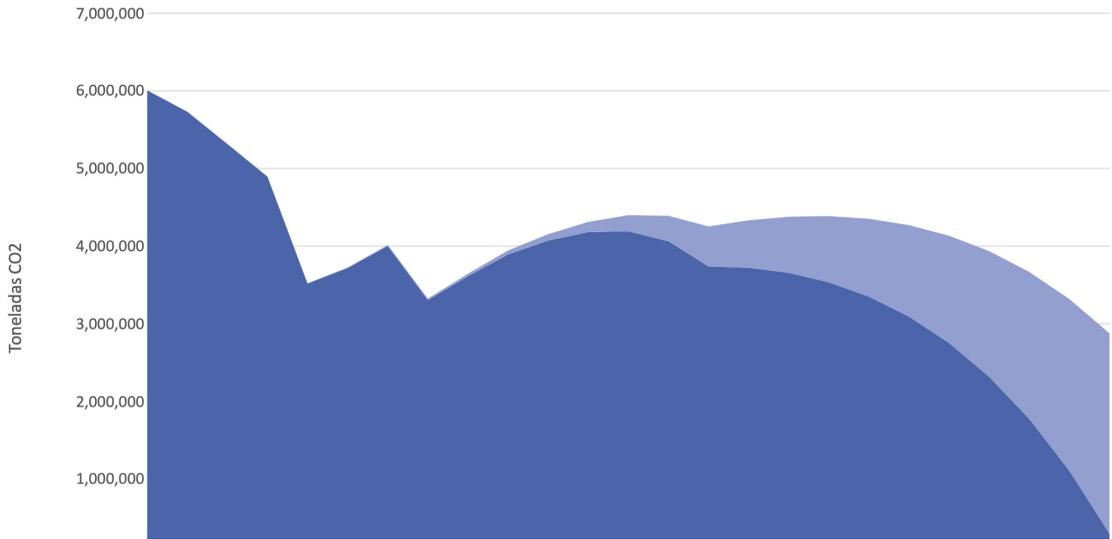


FIGURA 7. Emisiones de CO₂ procedentes de autos eléctricos de acuerdo con la propuesta de Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. Fuente: elaboración propia con información recabada de Semarnat (2024).

Para que esta transición sea efectiva y sostenible, es esencial que México invierta en infraestructura adecuada, que promueva fuentes de energía renovable y que desarrolle políticas que faciliten la adopción de tecnologías limpias. La capacidad de la red eléctrica actual en México podría ser insuficiente para soportar una adopción masiva de vehículos eléctricos, ya que se requerirá generar 3.2 Gwh adicionales en 2030 y 47 Gwh en 2040, situación que obliga a modernizar y expandir el sistema eléctrico nacional, no sólo en lo que refiere a nueva capacidad de generación sino también en términos de mejora y ampliación de redes de transmisión y distribución.

En esta línea, la generación distribuida renovable y a pequeña escala puede ser una alternativa para cargar los autos eléctricos. Para ello, se requiere analizar posibles modificaciones al marco regulatorio actual para incentivar una iniciativa de esta naturaleza, lo cual implica a su vez una modernización de los sistemas de transmisión y distribución, con incorporación de nuevas tecnologías de almacenamiento de energía, implementación de redes y sistemas de medición inteligentes, así como educación y capacitación para los usuarios.

Además, se requiere expandir la infraestructura de carga para vehículos eléctricos. En la actualidad hay en México 1,146 estaciones para cargar los cerca de 25 mil vehículos eléctricos que circulan de forma diaria (AMIA, 2024). No obstante, en 2030 se requerirán cerca de 23 mil estaciones adicionales, y en 2050 serán necesarias otras 20 mil estaciones. Para ello, se requerirá construir una extensa red de estaciones de carga públicas y privadas, sobre todo en áreas urbanas y carreteras interurbanas.

En resumen, la electromovilidad representa para México una opción sumamente importante para alcanzar una transición energética, pero su implementación presenta desafíos ambientales, tecnológicos y económicos que deben considerarse. El país debe prepararse de manera adecuada para esta transición, asegurando que las inversiones en infraestructura y energía sostenible acompañen también el crecimiento del transporte público eléctrico. Sólo así podremos aprovechar a plenitud los beneficios de la electromovilidad y avanzar hacia un futuro sostenible. La relevancia del transporte eléctrico no puede ser subestimada, y es fundamental que se integren estrategias comprensivas y sostenibles para su adopción efectiva en el país.

Impulsando el futuro: ejemplos de éxito en proyectos de electromovilidad





Impulsando el futuro: ejemplos de éxito en proyectos de electromovilidad

La electromovilidad en el transporte público ha emergido como una solución viable para mitigar los problemas ambientales y de salud pública causados por las emisiones de GEI y contaminantes locales. Este documento examina cuatro casos de éxito en proyectos de electromovilidad en el transporte público a nivel internacional y otros cuatro en México. Con base en ello, se destacan las lecciones aprendidas y los impactos positivos de estas iniciativas.

Experiencias internacionales

Shenzhen, China

Shenzhen, conocida como el Silicon Valley de China, es una megaciudad de alrededor de 23 millones de habitantes y una de las principales zonas económicas especiales del país. Su caso es muy interesante para el estudio de la electromovilidad, ya que es la primera ciudad del mundo en electrificar por completo su flota de autobuses públicos (Tsoi *et al.*, 2022).

En 2017, la ciudad completó la transición de sus 16,359 autobuses a eléctricos, y en 2018 se hizo lo mismo con cerca de 20 mil taxis y ambulancias, lo que la convirtió en un referente mundial. Este cambio fue impulsado por políticas gubernamentales favorables, subsidios significativos y la colaboración

con fabricantes de autobuses eléctricos (IAA Mobility, 2004). El proyecto concreto que está impulsando estos cambios es “Diez ciudades, mil autobuses” (IAA Mobility, 2004), cuyo objetivo es aumentar de manera gradual el uso de vehículos que puedan funcionar con energías renovables mediante la concesión de subvenciones anuales. La meta original fue introducir mil autobuses eléctricos en las diez ciudades seleccionadas, junto con la infraestructura necesaria, meta que fue superada con creces en Shenzhen. En el presente, la ciudad cuenta con 5 mil estaciones de carga y más de 80 mil autobuses de recarga. Los beneficios ambientales han sido notables, con una reducción anual de emisiones de carbono de 1.35 millones de toneladas y una disminución de la contaminación del aire. Además, la electrificación de la flota de autobuses ha generado ahorros significativos en costos operativos y de mantenimiento debido a la mayor eficiencia y menor desgaste de los vehículos eléctricos comparados con los de combustión interna.

El éxito de Shenzhen se debe en gran parte a las inversiones y subsidios del Estado. El gobierno local ha proporcionado incentivos financieros tanto para la adquisición de autobuses eléctricos como para la construcción de infraestructura de carga. Estos subsidios han sido cruciales para reducir los costos iniciales y para hacer viable en términos económicos la transición hacia la electromovilidad.

Cabe destacar que esta política de electromovilidad ha tenido impactos positivos en la calidad de vida de los residentes de Shenzhen, ya que la reducción de la contaminación del aire ha mejorado la salud pública, y la disminución del ruido del tráfico ha hecho que la ciudad sea un lugar más habitable. Además, la transición ha generado empleo en la industria de vehículos eléctricos y en la infraestructura de carga, lo que ha contribuido al desarrollo económico local. En el contexto global, es notable que el 95 % de las flotas de autobuses eléctricos que en la actualidad operan en las ciudades se encuentran en China. El incipiente 5 % restante se distribuye entre Europa, Estados Unidos, Canadá y América Latina.

El apoyo gubernamental se basa en incentivos financieros y una planificación estratégica que se ha replicado en otras ciudades chinas, como Beijing y Shanghai. Sin embargo, este éxito no está exento de desafíos que deben atenderse para asegurar su sustentabilidad en el futuro. Por ejemplo, la necesidad de una infraestructura de carga extensa y la gestión de la demanda energética son cuestiones complejas que requieren una planificación y ejecución cuidadosa entre diversas dependencias. Por otra parte, la dependencia inicial de subsidios gubernamentales plantea interrogantes sobre su viabilidad a largo plazo.

Oslo, Noruega

Oslo, la capital de Noruega, es una de las ciudades líderes a nivel mundial en la adopción de vehículos eléctricos, y ha implementado políticas públicas innovadoras para electrificar su sistema de transporte público. Estas iniciativas forman parte de un esfuerzo más amplio de la ciudad para reducir las emisiones de GEI y mejorar la calidad del aire, en relación con los objetivos climáticos del país. Para tener una idea del éxito de la electromovilidad en esta ciudad, hay que destacar que 9 de cada 10 automóviles que se venden hoy en día son autos eléctricos, y 32 % del parque vehicular, así como la totalidad del transporte público, es eléctrico, razón por la cual se le conoce como la capital mundial del auto eléctrico (Intelligent Transport, 2024).

La política de electromovilidad de Oslo reconoce de forma explícita que los autos eléctricos son importantes, pero son sólo una parte de la solución holística implementada por el gobierno local. Dicha estrategia impulsa la electromovilidad en el transporte público, así como tipos de movilidad alternativos tales como vehículos compartidos, bicicletas y desplazamientos peatonales. Un elemento sustancial de esta política es el impuesto ecológico que se aplica a la gasolina y el diésel, combinado con incentivos fiscales en la compra de vehículos eléctricos. Otro tipo de incentivos son las exenciones en el pago de peajes y estacionamiento gratuito. Todos estos elementos en conjunto han facilitado la electromovilidad tanto en vehículos privados como en el transporte público.

Oslo ha adoptado un enfoque tecnológico innovador para la implementación de su flota de autobuses eléctricos, el cual incluye el uso de tecnología avanzada para la gestión y operación de los vehículos. Por ejemplo, los autobuses están equipados con sistemas de telemetría que monitorean en tiempo real la operación y rendimiento de las unidades, con lo cual se optimiza el tiempo de traslado y la calidad del servicio a los usuarios. Esto se traduce, además de en beneficios ambientales, en impactos económicos y sociales positivos, como la reducción de la contaminación acústica y la creación de empleos en sectores y actividades económicas vinculados a la electromovilidad: infraestructura de carga, fabricación de automóviles y camiones, así como mantenimiento de este tipo de vehículos. Además, se han instalado estaciones de carga rápida —menos de una hora— y sistemas de gestión de la demanda energética, con lo cual se optimiza el uso de la red eléctrica, elemento crucial para garantizar el suministro energético, sobre todo en horas pico.

La electrificación del transporte público ha tenido en Oslo un impacto notable en lo que refiere a reducción de emisiones de GEI y contaminantes locales. Se estima que los autobuses eléctricos en Oslo han reducido las emisiones de dióxido de carbono en cerca de 7,400 toneladas anuales, y se ha mejorado la calidad del aire por la reducción de emisiones de NOx y partículas finas, contribuyendo a la salud pública y al bienestar de los ciudadanos.

El éxito de la política de transportes eléctricos de Oslo se debe en gran parte al fuerte apoyo gubernamental y a las políticas de incentivos, todo esto en colaboración con empresas de transporte y proveedores de tecnología. No obstante, y, al igual en el caso de Shenzhen, se siguen enfrentando desafíos importantes para asegurar la viabilidad de esta política, sobre todo en lo que tiene que ver con la integración de la infraestructura de carga necesaria para la ciudad, así como la gestión de la demanda de energía, pero, sobre todo, en la modernización que tendrá que llevarse a cabo en la red de distribución, es decir, en la parte inferior de la cadena de valor del sistema eléctrico (Wangness *et al.*, 2021).¹¹

Otro desafío relevante identificado tiene que ver con los problemas técnicos relacionados con el consumo de energía para la climatización al interior de los autobuses, sobre todo en las áreas urbanas con mayor densidad poblacional. Además, el coste total de propiedad de los autobuses urbanos es elevado en el presente, por lo que los gastos adicionales al costo de inversión —este último asumido por los particulares— tienen que ser gestionados por los presupuestos públicos. Si bien se reconocen estas dificultades, los operadores se muestran favorables al uso creciente de los autobuses eléctricos, lo que sugiere que las empresas están dispuestas a apoyar la innovación cuando el riesgo financiero es reducido (Thorne *et al.*, 2021).

El tema clave que ofrece la experiencia de Oslo es asegurar que la electromovilidad del transporte público sea sostenible en términos económicos en el futuro sin los incentivos iniciales que el gobierno otorga en el presente.

¹¹ La modernización necesaria del sistema de distribución, que incluye renovación de transformadores y sistemas inteligentes de medición y control, se requiere para el parque vehicular total, no sólo para el transporte público.

Londres, Reino Unido

El tema del transporte público en Londres es muy relevante, debido a que es una de las ciudades más grandes y congestionadas de Europa. En este sentido y de acuerdo con el Plan de Transporte de Londres y la Estrategia de Calidad del Aire, se ha implementado una política ambiciosa para electrificar su sistema de transporte público con el objetivo de reducir las emisiones de GEI y mejorar la calidad del aire urbano. Vale la pena destacar que la electromovilidad es un tema conocido en Londres desde el siglo XIX, ya que en 1890 entró en operación la primera línea de metro eléctrico en el mundo.

La estrategia de transporte de la ciudad establece que, para 2041, 80% de los desplazamientos en Londres se realicen a pie, en bicicleta o en transporte público (Transport for London, 2024). Para ello, desde 2021 se establecieron estándares estrictos para reducir las emisiones y, como consecuencia, está saliendo gradualmente de operación la flota de autobuses diésel mientras se introducen los autobuses eléctricos. La meta es que para 2034 el total de autobuses de la ciudad sean cero emisiones. En la actualidad, Londres tiene una flota aproximada a los 9 mil autobuses, de los cuales 500 son eléctricos y 22 de hidrógeno. Para ello, se ha construido una infraestructura de 740 puntos de recarga rápida y alrededor de 10 mil cargadores lentos (Transport of London, 2021).

Un componente clave de la política de transporte eléctrico de Londres es la implementación en 2019 de la Zona de Emisiones Ultra Bajas (ULEZ, por sus siglas en inglés). La ULEZ impone cargos a los vehículos que no cumplen con estándares de emisiones estrictos, lo que incentiva el uso de vehículos más limpios. Lo relevante de esta medida para nuestro tema es que ha acelerado la adopción de autobuses eléctricos y otros vehículos de bajas emisiones en la ciudad, y esto a su vez ha contribuido de manera importante a la reducción de la contaminación del aire.

Los autobuses eléctricos en Londres han reducido las emisiones de NO_x y CO₂, han mejorado la calidad del aire y han reducido el impacto ambiental del transporte público. Esta experiencia destaca la importancia de la planificación a largo plazo y el compromiso gubernamental para la implementación exitosa de la electromovilidad.

La política de electromovilidad para el transporte público de Londres se sustenta en el apoyo financiero y las políticas de incentivos del gobierno tanto a escala nacional como local. Transport of London ha recibido subvenciones

sustanciales para la compra de autobuses eléctricos y la instalación de infraestructura de carga. Estos incentivos han sido esenciales para reducir los costos iniciales de una política de esta naturaleza, situación que facilita la transición hacia una flota de autobuses eléctricos.

Aprendiendo de las experiencias internacionales

Las experiencias de Shenzhen, Oslo y Londres proporcionan valiosas lecciones que México puede aprovechar para implementar con éxito su política de electromovilidad en el transporte público. A grandes rasgos, encontramos que Shenzhen es una ciudad pionera en la electrificación de su flota de autobuses, y ha demostrado que es posible alcanzar una transición completa con una combinación de políticas gubernamentales sólidas y colaboración con fabricantes de vehículos eléctricos. Oslo, con su enfoque innovador y robusto en infraestructura de carga, ha resaltado la importancia del apoyo gubernamental y los incentivos fiscales. Londres, por último, ha mostrado cómo integrar la electrificación dentro de un marco más amplio de sostenibilidad y calidad del aire urbano, al implementar zonas de bajas emisiones y expandir su flota de autobuses eléctricos.

Electromovilidad en grandes ciudades

Los tres casos analizados corresponden a grandes ciudades donde desafíos urbanos como la congestión del tráfico, la calidad del aire y la accesibilidad son prominentes. En el ámbito regional de América Latina se observa este mismo patrón, ya que los 5,561 autobuses eléctricos que operan actualmente en la región lo hacen en grandes ciudades. Las ciudades principales que albergan estas flotas son Santiago de Chile con 2,000 autobuses, Bogotá con 1,485, Ciudad de México con 580 y Sao Paulo con 381 (figura 8). El resto de los autobuses eléctricos están distribuidos en pequeñas flotas de entre 10 y 50 vehículos en varias ciudades de la región.

Este vínculo entre electromovilidad y grandes ciudades tiene importantes repercusiones para México, si se considera que cerca de tres cuartas partes de su población viven en localidades urbanas. El sistema urbano nacional está

compuesto por 74 zonas metropolitanas, 132 conurbaciones y 195 centros urbanos mayores de 15 mil habitantes (Conapo, 2018). Es en las grandes ciudades, de acuerdo con los casos comentados a nivel internacional, donde es más factible implementar políticas de electromovilidad en el transporte público. En este sentido, no es casualidad que las tres ciudades más grandes de México —la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara— hayan empezado a implementar proyectos que impulsan este tipo de políticas.

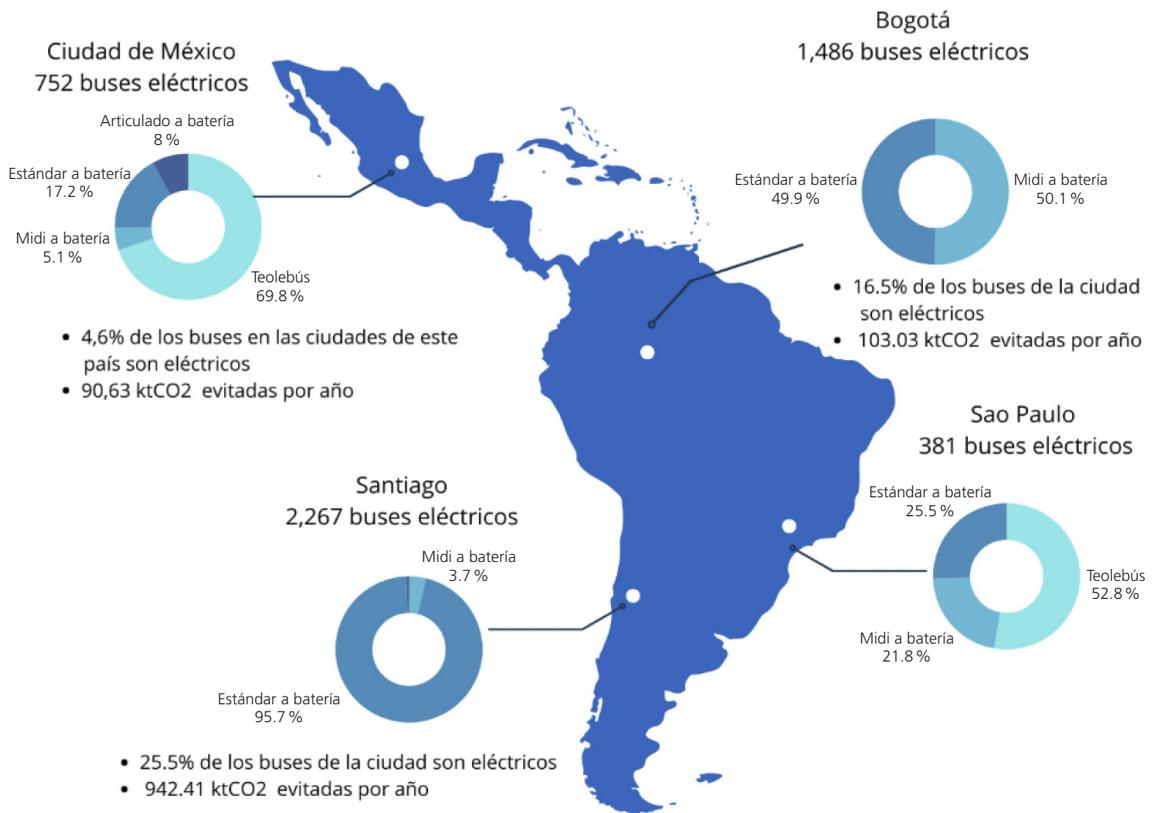


FIGURA 8. Buses eléctricos en América Latina. Fuente: elaboración propia con datos de E-Bus Radar (2024).

Por ejemplo, en 2020 la Ciudad de México implementó una flota de 100 trolebuses eléctricos modernos, con la que complementó la red existente de trolebuses. Esta política forma parte de una estrategia más amplia para modernizar y descarbonizar el transporte público de la ciudad.

Monterrey, por su parte, ha iniciado la transición hacia un sistema de transporte público más sostenible con la implementación de autobuses eléctricos. En 2019, dicha ciudad introdujo una flota de 30 autobuses eléctricos como parte de un proyecto piloto para evaluar la viabilidad y los beneficios de la tecnología.

En el caso de Guadalajara, esta ciudad destaca por ser pionera en la adopción de la electromovilidad en el transporte público en México. En 2018, introdujo los 25 autobuses eléctricos en su sistema de transporte público. Este proyecto ha sido respaldado por el gobierno estatal y municipal, así como por alianzas con empresas privadas y fabricantes de vehículos eléctricos.

Si bien los proyectos de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara no alcanzan lo visto en Shenzhen, Oslo, y Londres, lo importante es que ya se han dado los primeros pasos en esta dirección. En este sentido, resulta pertinente aprender de las buenas prácticas y experiencias de otras ciudades.

Es importante señalar que las ciudades latinoamericanas con mayor cantidad de autobuses eléctricos no siempre son aquellas donde la electromovilidad tiene una mayor participación y diversidad de modos de transporte eléctricos. Por ejemplo, algunas ciudades con grandes flotas de autobuses eléctricos, como Bogotá, no cuentan con sistemas de metro, mientras que otras, como Santiago de Chile, tienen redes de metro relativamente pequeñas. Además, en muchas de estas ciudades, las líneas de trolebuses fueron desmanteladas en décadas pasadas. Este no es el caso de la Ciudad de México y Guadalajara, que cuentan con sistemas de metro más desarrollados y, en el caso de la Ciudad de México, también mantienen líneas de trolebuses en operación.

En el contexto nacional, la Ciudad de México y Guadalajara aún cuentan con sistemas de trolebuses con catenarias, lo cual representa una de las mayores oportunidades y ventajas comparativas para implantar la electromovilidad en las principales ciudades del país. Estos sistemas, instalados en la primera mitad del siglo pasado, permiten ampliar el número de unidades en circulación y expandir la red de manera centralizada de forma factible y relativamente rápida. Esta red centralizada actúa como un centro de carga y evita la necesidad de instalar centros de carga adicionales. Esta característica es una ventaja significativa que pocas ciudades poseen y contribuye a que la Ciudad de México cuente con la flota de trolebuses más grande del país.

En Guadalajara, aunque el crecimiento de la flota de trolebuses ha sido menor que en la Ciudad de México, se comparte la ventaja de una amplia red de catenarias, lo que también ofrece un potencial significativo para el crecimiento de la electromovilidad en estas ciudades. Esto contrasta con la mayoría de las empresas de transporte nacionales, que operan con flotas de autobuses convencionales y enfrentan el reto de transformar sus flotas de combustibles fósiles a eléctricas. Este desafío incluye aspectos tecnológicos como la distribución de energía, la construcción de centros de carga, la adquisición de partes, la planeación, la operación, el financiamiento y el acceso al mercado mundial de autobuses eléctricos.

Cabe destacar que sólo las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara concentran el 25 % de la población del país. Éste es un factor importante, si lo que se busca es lograr efectos significativos por la electromovilidad en el transporte público urbano. En estas zonas metropolitanas se identifica que más del 95 % de las unidades son operadas mediante concesiones a particulares, quienes adquieren —son propietarios—, operan y dan mantenimiento a las unidades por sus propios medios. Así, las dependencias gubernamentales no pueden tomar decisiones respecto a la sustitución o reconversión de dichas unidades de forma directa, por lo que corresponde, en su campo de acción, actividades de gestión, aplicación de medidas regulatorias que obliguen al cambio o promoción de programas de apoyo para facilitar la transición.

Incentivos fiscales

Un tema común observado en Shenzhen, Oslo, y Londres es que los gobiernos nacionales y locales han desempeñado un papel crucial en la promoción de la electromovilidad, sobre todo mediante la implementación de incentivos fiscales —como exenciones de impuestos y subsidios— para hacer más atractiva la adopción de vehículos eléctricos. Entre los incentivos más relevantes se encuentran el impuesto sobre el valor añadido (IVA), los derechos de matriculación y los impuestos sobre la propiedad de vehículos, los cuales varían significativamente entre países miembros. Por ejemplo, además de las tres ciudades mencionadas, la tasa de impuesto sobre la propiedad de vehículos varía desde un 15 % en Luxemburgo hasta un 27 % en Hungría. Además, otros impuestos relevantes incluyen el impuesto a la renta de las personas físicas y el impuesto de sociedades. Las tasas de inscripción para vehículos eléctricos

—que comprenden el impuesto de matriculación y el impuesto de registro— están diseñadas para cubrir los costos administrativos de la matriculación y pueden variar según parámetros técnicos o medioambientales en algunos países, como Chipre y Francia, donde se ofrecen reducciones basadas en las emisiones de CO₂. Además, la colaboración entre el gobierno y las empresas privadas ha sido fundamental para que las políticas de transporte sean económicamente viables y sostenibles a largo plazo.

Otro incentivo importante es el derecho de matriculación. En países como Chipre, España, Francia y Países Bajos, los vehículos eléctricos están exentos de este impuesto, lo que constituye un importante incentivo para su adquisición. En Bélgica, la situación varía por región, con Flandes y Valonia ofreciendo incentivos basados en las emisiones de CO₂. Italia permite a las provincias establecer recargos sobre el impuesto de matriculación, aunque la mayoría ha optado por aplicar el máximo permitido, con pocas excepciones para vehículos eléctricos. Estas políticas fiscales y de incentivos financieros son fundamentales para estimular la transición hacia la electromovilidad en Europa, alineándose con los objetivos ambientales y de sostenibilidad de la región.

Las políticas fiscales relacionadas con el impuesto sobre la renta representan otro nivel de incentivos para la adopción de vehículos eléctricos. En este ámbito, destacan dos incentivos principales: 1) en el caso de un empleado que recibe un vehículo de empresa, su valor —total o parcial— debe incorporarse a la base imponible como parte de la renta; 2) la compra de un vehículo eléctrico puede dar lugar a una deducción en el impuesto, con lo que se ofrece un incentivo financiero para optar por vehículos más sostenibles.

En México, los incentivos para los vehículos eléctricos privados varían según los estados. Por ejemplo, los propietarios de vehículos eléctricos, híbridos y de hidrógeno no pagan el impuesto federal de vehículos nuevos. Estos incentivos han impulsado el mercado de vehículos eléctricos e híbridos. De acuerdo con la AMIA (2024), en 2016 se vendieron 8,265 unidades, mientras que en 2022 se vendieron 51,065, lo cual significó un crecimiento de 518% en seis años, aunque la gran mayoría de los casi 185,000 vehículos eléctricos que se han vendido en México son híbridos. Además, existen otras facilidades para los usuarios de vehículos eléctricos, como la exención del pago de tenencia —impuesto de propiedad— durante los primeros cinco años y un descuento del 50% en los cinco años posteriores. En la Ciudad de México los vehículos eléctricos e híbridos pueden obtener una etiqueta adhesiva llamada “EcoTAG”, que otorga un 20% de descuento permanente al transitar por determinadas autopistas urbanas de cuota.

Infraestructura de carga

Otro tema relevante es que Shenzhen, Oslo y Londres han enfrentado desafíos similares en lo que refiere a la infraestructura de carga y la gestión de la demanda energética. La creación de una red de estaciones de carga rápida y eficiente es esencial para la operatividad continua de los autobuses eléctricos.

En México, se tienen disponibles 1,146 centros de recarga para vehículos híbridos *plug-in* y eléctricos, llamados también electrolinerías (AMIA, 2024). Estos permiten recargar la batería de los coches eléctricos para que puedan continuar su marcha. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) promueve el uso de la tecnología de movilidad eléctrica al poner a disposición del público la instalación de electrolinerías o puntos de carga seguros que suelen ubicarse en centros comerciales o en espacios públicos y negocios concurridos. Estos puntos de carga pueden ser instalados también en hogares o negocios, se alimentan de la red de energía eléctrica, y cuentan con un directorio de centros de recarga clasificados de acuerdo con la potencia de recarga de la batería. Además, la CFE se encarga de validar esta información para tener un directorio único de puntos de recarga de vehículos eléctricos en el país (CFE, 2024).

La red de electrolinerías conecta ciudades en diez entidades federativas: Aguascalientes, Coahuila, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Querétaro y Tamaulipas. El corredor eléctrico instalado por la CFE tiene el objetivo de proporcionar la infraestructura para que los usuarios de vehículos híbridos y eléctricos puedan viajar y recargar sus vehículos.

Se comprueba entonces que México está avanzando, si bien todavía de manera incipiente, en la construcción de infraestructura de carga eléctrica. La CFE es un actor clave al facilitar la instalación de estas estaciones, al asegurar su integración en la red eléctrica nacional y al validar su ubicación para mantener un directorio único.

Gestión de la demanda

La electrificación masiva del transporte público y privado implica un considerable aumento en la demanda de electricidad, como se comprobó en los casos internacionales estudiados. Por este motivo, una gestión adecuada de la demanda es esencial para evitar que las redes de distribución se sobrecarguen, situación que podría provocar apagones y fallos en el suministro.

Este último punto es de gran relevancia para México, ya que la gestión eficiente de la demanda será cada vez más importante para equilibrar la carga en la red eléctrica y distribuir el consumo en diferentes momentos del día. Esto ayudará a evitar picos de demanda que pueden ser costosos y difíciles de gestionar. Este tipo de medidas complementan lo comentado en el apartado de medioambiente en lo que concierne a la necesidad de construir la capacidad adicional de generación de electricidad, así como la modernización y ampliación de las redes de transmisión y distribución.

Visión integral

Por último, las políticas de electromovilidad comentadas en Shenzhen, Oslo y Londres se enmarcan dentro de una estrategia más amplia de transición energética y sustentabilidad. En este sentido, la colaboración de los tres niveles de gobierno —federal, estatal y municipal— será crucial para implementar políticas de electromovilidad en el transporte público de las ciudades mexicanas. A nivel federal, se pueden establecer marcos regulatorios, incentivos fiscales y programas de financiamiento que faciliten la adopción de tecnologías limpias. Los gobiernos estatales juegan un papel esencial en la coordinación regional y en la implementación de infraestructuras de carga, asegurando que las iniciativas se adapten a las necesidades específicas de las diferentes ciudades del país. A nivel municipal, la gestión directa del transporte público y la planificación urbana permiten integrar de manera efectiva los autobuses eléctricos en las rutas diarias y en la infraestructura local.

Además de las experiencias aprendidas, hay otras acciones que deben implementarse en México bajo un enfoque integral de transición energética. Por ejemplo, algunos gobiernos estatales han realizado esfuerzos alineados al Programa para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) promovido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Este programa, de carácter preventivo y correctivo, establece como objetivos para reducir la emisión de contaminantes en el aire —a corto, mediano y largo plazo— el fomento de vehículos eléctricos y la transición a sistemas de movilidad urbana eléctrica. En particular, la Ciudad de México y el Estado de México fomentan el uso de vehículos eléctricos, ya que estos coadyuvan en aliviar las problemáticas medioambientales y de tráfico que aquejan a su población. En estas dos entidades

se ha implementado el programa Hoy no Circula, bajo el cual los vehículos eléctricos tienen derecho a transitar con libertad al estar excluidos de dichas restricciones, además de no ser requerido realizar la verificación de emisiones ambientales, la cual es obligatoria para los vehículos de combustión interna. Algunos estados de la Zona Metropolitana del Valle de México han habilitado el trámite del holograma “E” para distinguir por medio de las placas vehiculares a los automóviles que están exentos de los requisitos antes mencionados.

El ProAire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) menciona la reducción de emisiones del transporte público mediante el uso de unidades con mayor capacidad de pasajeros y una “ampliación del sistema de transporte público limpio” que busca una movilidad urbana con tecnologías menos contaminantes. Este programa incluye como línea de acción la promoción de vehículos híbridos y eléctricos para el transporte particular, público y de carga.

Por su parte, entre las medidas que apoya el ProAire de Jalisco se encuentran el fomento del transporte público masivo incluyendo el Sistema de Tren Eléctrico Urbano (Siteur) y el macrobús, así como el retiro de vehículos que no cumplan con los criterios máximos de contaminación, omitiendo la promoción y uso del transporte público eléctrico. En el caso de Nuevo León, el programa menciona brevemente la existencia de apoyos económicos del Fondo Nacional de Infraestructura (Fonadin) para la “electrificación”, y establece que las acciones se concentrarán de forma prioritaria en la promoción y difusión del uso de transporte público en mayor grado que el particular, así como en el uso de “transporte sustentable” tanto motorizado como no motorizado.

En otra línea, cabe destacar el Programa de Impulso a la Multimodalidad y Viajes con Modos no Motorizados. El Fonadin, a través de su Programa de Apoyo Federal al Transporte Urbano Masivo (Protram), financia estudios y proyectos de transporte público para la implementación de soluciones de movilidad urbana. Entre los ejes de inversión se identifican el apoyo a la electrificación y el financiamiento para equipo de transporte, incluyendo trenes, tranvías o autobuses de alta capacidad y convencionales. La categoría de autobuses abarca los “sistemas de autobuses”, Buses Rápidos Troncales (BRT) y trolebuses que transiten por carriles exclusivos y con estaciones para el ascenso y descenso de usuarios.

La ENME 2030 plantea distintas aristas para abordar el impulso hacia la electromovilidad urbana. Entre los ejes estratégicos que se plantean y que discuten de forma específica el uso de autobuses eléctricos, se encuentra: 1) la reactivación de programas de chatarrización para retirar autobuses viejos de las calles y promover la transición a autobuses eléctricos; 2) apoyar

la implementación de proyectos piloto que preparen a las ciudades para el despliegue masivo de unidades eléctricas; y 3) instalar la infraestructura necesaria para la recarga de autobuses en los patios de encierro.

En resumen, el impulso a la electromovilidad en México debe integrarse en una estrategia integral de transición energética y sostenibilidad para maximizar sus beneficios ambientales y económicos. Esto implica no sólo la expansión de la red de electrolíneas y el aumento de la flota de vehículos eléctricos, sino también la gestión de la demanda y la promoción de fuentes de energía renovable para abastecer estas estaciones de carga, y reducir con ello las emisiones de GEI. Además, es crucial coordinar políticas públicas que fomenten la innovación tecnológica, incentiven la inversión en infraestructura verde y garanticen la accesibilidad y equidad en el acceso a la movilidad eléctrica. De este modo, México podrá avanzar hacia un modelo de transporte más limpio y eficiente, lo que contribuirá a sus objetivos de desarrollo sostenible y mitigación del cambio climático.

Conclusión

Los casos de éxito en electromovilidad en el transporte público a nivel internacional demuestran el gran potencial de esta tecnología para mejorar la sostenibilidad ambiental y la eficiencia del transporte urbano. Shenzhen, Oslo y Londres han logrado notables avances mediante políticas gubernamentales favorables, incentivos económicos y la colaboración entre sectores. En México, la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Mérida han iniciado la transición hacia la electromovilidad, por lo que la experiencia de estos tres ejemplos a nivel internacional puede ser clave para fortalecer este tipo de políticas y diseminarlas al resto de las ciudades.

La implementación exitosa de proyectos de electromovilidad en el transporte público requiere un enfoque integral que incluya políticas públicas claras, incentivos financieros, infraestructura adecuada y cooperación entre gobiernos, empresas y comunidades. A medida que México y otras naciones continúan avanzando hacia la adopción de vehículos eléctricos en el transporte público, las lecciones aprendidas de estos casos de éxito proporcionarán una base sólida para la planificación y expansión futuras. La electromovilidad no sólo tiene el potencial de transformar el transporte público, sino que también representa un paso crucial hacia una transición energética justa y sustentable.

Comentarios finales





Comentarios finales

Todo indica que la electromovilidad es un hecho en México, y se espera una penetración cada vez mayor de autos eléctricos en el mercado. Esta tendencia refleja el compromiso del país con la adopción de tecnologías más limpias y sostenibles, alineadas con los objetivos globales de reducción de emisiones de GEI. Sin embargo, la electromovilidad no resolverá por sí sola los problemas de accesibilidad, congestión y tiempos de traslado, en especial en las zonas urbanas. Aunque se prevé una reducción significativa de las emisiones directas de los vehículos eléctricos, la transición no está exenta de desafíos. Existen implicaciones en la huella energética y de carbono debido a las emisiones indirectas asociadas con la producción y el suministro de electricidad.

En este contexto, el transporte público eléctrico se presenta como un factor fundamental para mejorar la movilidad intraurbana y también en localidades semiurbanas y rurales. La implementación de sistemas de transporte público eléctrico puede ayudar a descongestionar las ciudades, mejorar los tiempos de traslado y ofrecer una alternativa accesible y sostenible para la movilidad de la población. Si bien ya hay casos de éxito documentados de proyectos de electromovilidad en el transporte público, tanto a nivel internacional como nacional, es necesario un impulso significativo en términos de política pública.

México necesita políticas que promuevan el diseño e implementación de proyectos de transporte público eléctrico en todo el país. Estas políticas deben incluir incentivos económicos, apoyo técnico y regulaciones favorables que faciliten la transición hacia un sistema de transporte más limpio y eficiente. El fomento de la electromovilidad en el transporte público no sólo contribuirá a la reducción de emisiones y a la mejora de la calidad del aire, sino que también ayudará a construir un sistema de transporte más equitativo y accesible para todos los mexicanos.



Listado de tablas

- TABLA 1.** Líneas de tranvía en operación en la Ciudad de México en 1896 | 13
- TABLA 2.** Medio de traslado de la población de 12 años o más ocupada en México (2020) | 20

Listado de figuras

- FIGURA 1.** Del tren de mulitas al tranvía eléctrico | 14
- FIGURA 2.** Descripción general de automóviles eléctricos | 19
- FIGURA 3.** Satisfacción en tiempos de traslado por rangos de tiempo | 22
- FIGURA 4.** Población de 12 años o más ocupada por tiempo de traslado y tamaño de localidad | 24
- FIGURA 5.** Emisiones CO₂e del sector autotransporte en México (1990-2021) | 26
- FIGURA 6.** Emisiones indirectas de un automóvil eléctrico por unidad de energía eléctrica | 27
- FIGURA 7.** Emisiones de CO₂ procedentes de autos eléctricos de acuerdo con la propuesta de Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica | 30
- FIGURA 8.** Buses eléctricos en América Latina | 39



Referencias

- Aguayo, F. (1998). Los vehículos de la diversión: los trenes de mulitas en el Distrito Federal. *Congreso Internacional de Historia Ferroviaria* 150.
- _____. (2016). ¿Tranvías o ferrocarriles? El Distrito Federal 1857-1873. *Mirada Ferroviaria* 28, 6-17.
- AMIA (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz) (2024). Ventas de Vehículos Híbridos y Eléctricos. AMIA. <https://www.amia.com.mx/ventas-de-vehiculos-hibridos-y-electricos1/>
- Attias, D. (2017). The automobile world in a state of change: from the automobile to the concept of auto-mobility. *The automobile revolution: Towards a new electro-mobility paradigm*. Suiza: Springer, 7-19.
- Camarena, M. (1991). El tranvía en época de cambio. *Historias. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Dirección de Estudios Históricos* 27.
- CFE (Comisión Federal de Electricidad) (s.f.). Servicios PAESE, electrolinerías. CFE. <https://www.cfe.mx/paese/serviciospaese/Pages/electrolinieras.aspx>
- Christian, T.J. (2012a). Trade-offs between commuting time and health-related activities. *Journal of urban health* 89, 746-757.
- _____. (2012b). Automobile commuting duration and the quantity of time spent with spouse, children, and friends. *Preventive medicine* 55(3), 215-218.
- Cofepris (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios) (2017). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente#:~:text=Los%20contaminantes%20criterio%20son%20aquellos,el%20bienestar%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.>

- Dinu, M., Pagliai, G., Macchi, C., y Sofi, F. (2019). Active commuting and multiple health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine* 49, 437-452.
- E-Bus Radar (2024). Buses eléctricos en América Latina. *E-Bus Radar*. <https://www.ebusradar.org/es/>
- Green, O. (2016). *Rails in the road: A history of tramways in Britain and Ireland*. Inglaterra: Pen and Sword.
- IAA Mobility (2004). Shenzhen: the city of green future. *IAA Mobility*. <https://www.iaa-mobility.com/en/newsroom/news/sustainability/shenzen-the-city-of-green-future>
- Ibarra-Deras, M., y Becerril-Sánchez, T. (2022). El papel de los tranvías en la expansión de la ciudad de México del siglo XIX. *Legado de Arquitectura y Diseño* 17(32), 29-36.
- IEA (International Energy Agency) (2024). Electric Vehicles: Total Cost of Ownership Tool. *IEA*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/electric-vehicles-total-cost-of-ownership-tool>
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2024). Vehículos de motor registrados en circulación. *Inegi*. <https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/>
- ____ (2021). Censo de Población y Vivienda 2020: Movilidad cotidiana. *Inegi*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos
- ____ (2020). Encuesta Nacional sobre el Uso de Tiempo 2019. *Inegi*. <https://www.inegi.org.mx/programas/enut/2019/#tabulados>
- Inecc (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2024). Datos abiertos. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI). *Gobierno de México*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-inegycei>
- Intelligent Transport (2024). Electrifying Oslo: How the Norwegian capital city continues to remain a pioneer in electric vehicle adoption and usage. *Intelligent Transport*. <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/143162/electrifying-oslo-norwegian-capital-pioneer-electric-vehicle-adoption-usage/>
- Mayor of London and Transport for London (2021). *Vision Zero action plan. Taking forward the Mayor's Transport Strategy*. UK Government. <https://content.tfl.gov.uk/vision-zero-action-plan.pdf>

- Naugle, M. (1932). A History of Railroads in Virginia, 1850-1860. *Dissertations, Theses, and Masters Projects*. Paper 1593092134. <https://dx.doi.org/doi:10.21220/m2-xayt-7x39>
- Rey, P. G., y Álvarez, H.I.M. (1976). Los Tranvías Eléctricos De La Ciudad De México: Transformaciones Urbanas Y Los Conflictos De Los Tranviarios. *Sierra* 14.
- Sener (Secretaría de Energía) (2023). *Balance Nacional de Energía 2022*. <https://base.energia.gob.mx/BNE/BalanceNacionalDeEnerg%C3%A1Da2022.pdf>
- Tajalli, M., y Hajbabaie, A. (2017). On the relationships between commuting mode choice and public health. *Journal of Transport & Health* 4, 267-277.
- Thorne, R.J., Hovi, I.B., Figenbaum, E., Pinchasik, D.R., Amundsen, A.H., y Hagman, R. (2021). Facilitating adoption of electric buses through policy: Learnings from a trial in Norway. *Energy Policy* 155, 112310.
- Transport for London (2024). The Mayor's Transport Strategy. *UK Government*. <https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/the-mayors-transport-strategy>
- Tsoi, K.H., Loo, B.P., Tal, G., y Sperling, D. (2022). Pioneers of electric mobility: Lessons about transport decarbonisation from two bay areas. *Journal of Cleaner Production* 330, 129866.
- Wangsness, P.B., Proost, S., y Rødseth, K.L. (2021). Optimal policies for electromobility: Joint assessment of transport and electricity distribution costs in Norway. *Utilities Policy* 72, 101247.



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

