



**SCT**  
SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES



---

---

# ESTADO DEL ARTE DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN MÉXICO

Luis Gerardo Sánchez Vela  
Manuel de Jesús Fabela Gallegos  
José Ricardo Hernández Jiménez  
Oscar Flores Centeno  
David Vázquez Vega  
Mauricio Eliseo Cruz Acevedo

**Publicación Técnica No. 596**  
**Sanfandila, Qro., 2020**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Estado del arte de la movilidad eléctrica en México**

**Publicación Técnica No. 596**  
**Sanfandila, Qro, 2020**

---



Esta publicación representa el producto del proyecto de investigación EI 22/19 Estado del arte de la movilidad eléctrica en México. Dicho proyecto fue realizado en la Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Luis Gerardo Sánchez Vela, el Dr. Manuel de Jesús Fabela Gallegos, el M. C. Oscar Flores Centeno, el M. C. José Ricardo Hernández Jiménez, el M. en C. David Vázquez Vega y el Ing. Mauricio Eliseo Cruz Acebedo, investigadores de Dinámica Vehicular.

Se agradece la colaboración del Dr. Miguel Martínez Madrid, Coordinador de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural del Instituto Mexicano del Transporte, por sus valiosos comentarios y recomendaciones para la elaboración de esta publicación.



# Contenido

---

Índice de figuras .....	v
Índice de tablas .....	vii
Sinopsis.....	ix
Abstract .....	xi
Resumen ejecutivo .....	xiii
Introducción.....	1
1 Antecedentes .....	3
1.1 Emisiones por combustibles fósiles .....	3
1.2 Consumo energético y emisiones por tipo de combustible en el sector transporte de México .....	6
1.3 Combustibles Alternativos.....	71.4
Vehículos híbridos y eléctricos.....	12
2 Movilidad eléctrica en México (vehículos ligeros) .....	15
2.1 Parque vehicular en México .....	15
2.2 Tendencia de los vehículos híbridos y eléctricos en el parque vehicular de México .....	16
2.3 Electrolineras y centros de carga .....	17
2.4 Conectores para la recarga del vehículo eléctrico .....	19
2.5 Vehículos disponibles en México .....	23
2.6 Incentivos a la movilidad eléctrica .....	24
3 Movilidad eléctrica en México (Autotransporte).....	25
3.1 Autotransporte con tecnología eléctrica .....	25
3.2 Transporte urbano electrificado.....	27

4	Panorama internacional de los vehículos eléctricos.....	33
4.1	La electromovilidad en el mundo.....	33
4.2	Vehículos ligeros.....	34
4.3	Autotransporte.....	35
4.4	Otras tecnologías en el transporte para la movilidad eléctrica .....	40
4.4.1	Ehighway .....	40
4.4.2	Sistema de alimentación por suelo .....	42
4.4.3	Recarga inductiva electromagnética.....	43
4.5	Acuerdos internacionales sobre la movilidad eléctrica en vehículos .....	44
5	Comentarios.....	47
	Referencias .....	49



# Índice de figuras

---

Figura 1.1 Tendencia global de las emisiones de CO2 por la quema de combustible .....	3
Figura 1.2 Emisiones por sector en México .....	4
Figura 1.3 Tendencia de los GEI por tipo de gas .....	5
Figura 1.4 emisiones de GEI del sector energía .....	5
Figura 1.5 Emisiones generados por el sector transporte .....	6
Figura 1.6 Consumo energético y emisiones de GEI por el sector transporte.....	7
Figura 1.7 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en serie .....	12
Figura 1.8 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en paralelo .....	13
Figura 1.9 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en serie-paralelo ..	13
Figura 1.10 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en serie-paralelo.	14
Figura 2.1 Crecimiento del parque vehicular en México.....	15
Figura 2.2 Venta de vehículos híbridos y eléctricos enero-octubre 2019 .....	17
Figura 2.3 Niveles de capacidad de carga para vehículos eléctricos .....	17
Figura 2.4 : Red nacional de electrolineras de carga rápida .....	19
Figura 2.5 Conector CHAdeMO .....	20
Figura 2.6 Cargador SAE J1772 o tipo 1 .....	21
Figura 2.7 Conector VDE-AR-E 2623-2-2 o tipo 2.....	21
Figura 2.8 Conector SCAME o tipo 3 .....	22
Figura 2.9 Conector CSS .....	22
Figura 3.1 Camión HINO Serie 300 Híbrido .....	26
Figura 3.2 Autobús Volvo 7700 híbrido .....	26
Figura 3.3 Autobús modelo 7900 híbrido .....	27
Figura 3.4 Volvo 7900 Eléctrico.....	27
Figura 3.5 Metro de la Ciudad de México.....	28
Figura 3.6 Trolebús de la Ciudad de México .....	29
Figura 3.7 Tren ligero de la Ciudad de México.....	30
Figura 3.8 Sistema de transporte público teleférico .....	31
Figura 3.9 Sistema de transporte colectivo Metrorrey .....	31
Figura 3.10 Trolebús de la ciudad de Guadalajara.....	31
Figura 3.11 Tren ligero de la ciudad de Guadalajara .....	32
Figura 4.1 Ventas globales de automóviles eléctricos.....	33
Figura 4.2 Participación del mercado global de vehículos eléctricos .....	34
Figura 4.3 Infraestructura global de cargadores eléctricos del 2013 al 2018 .....	34
Figura 4.4 Vehículo eléctrico para pasajeros de baja velocidad.....	35
Figura 4.5 Cargadores de autobús dedicados y cargadores rápidos de acceso al público por país, 2018 .....	36
Figura 4.6 Vehículo eléctrico para reparto de mercancía del Grupo Bimbo .....	38
Figura 4.7 Autopista eléctrica e-Highway en Suecia .....	41
Figura 4.8 Prototipo eHighway en California, EE.UU. ....	41

Figura 4.9 Autopista eléctrica ehighway en Alemania ..... 42  
Figura 4.10 Sistema de alimentación por suelo a un vehículo de carga híbrido.... 43  
Figura 4.11 Recarga inductiva electromagnética de vehículos eléctricos ..... 44

## Índice de tablas

---

Tabla 2.1 Venta de vehículos eléctricos en México respecto al total .....	18
<b>Tabla 2.2 Vehículos híbridos en México,</b> .....	25
<b>Tabla 2.3 Vehículos eléctricos disponibles de México</b> .....	25
<b>Tabla 2.4 Incentivos para la movilidad eléctrica en vehículos</b> .....	26
<b>Tabla 3.1 Datos estadísticos de pasajeros transportando en el sistema de transporte colectivo</b> .....	30
<b>Tabla 3.2 Datos estadísticos del sistema de transporte trolebús</b> .....	31
<b>Tabla 3.3 Datos estadísticos del transporte tren ligero</b> .....	32
<b>Tabla 4.1 Régimen de carga de operaciones de autobuses eléctricos</b> .....	39
<b>Tabla 4.2 Vehículos eléctricos de carga disponible en el mercado internacional</b> .....	41
<b>Tabla 4.3 Compromiso de fabricantes para la venta o fabricación de vehículos eléctricos</b> .....	46
<b>Tabla 4.4 Compromiso de algunos países para la venta o fabricación de vehículos eléctricos</b> .....	47



## **Sinopsis**

---

El presente trabajo muestra una revisión del estado del arte de la electromovilidad en México y en otros países. Incluye los modos de transporte existentes que tienen como fuente de energía la electricidad, estaciones de recarga y los tipos de conectores existentes en el mercado. Además, se presenta la estadística de las ventas por año y registro de los vehículos ligeros, de autotransporte y transporte masivo disponibles en México. Incluye las referentes a organizaciones gubernamentales y agencias que se encargan de monitorear el consumo energético, los incentivos para adquirir un vehículo con tecnología eléctrica y aquellas que tienen por objetivo reducir el uso del combustible como fuente de energía para los motores. Como antecedente, se describe la generación de emisiones contaminantes y funcionamiento de los tipos de vehículos híbridos y eléctricos. También se presentan los combustibles alternativos como una opción para disminuir la generación de emisiones contaminantes producidas por la movilidad.



# Abstract

---

This work shows a review of the state of the art of electromobility in Mexico and other countries. It includes the existing modes of transport that have electricity, recharging stations, and the types of connectors on the market as their energy source. Also, the statistics of sales per year and registration of light vehicles, motor transport, and mass transportation available in Mexico are presented. It includes those referring to government organizations and agencies that are in charge of monitoring energy consumption, incentives to acquire a vehicle with electrical technology, and those that aim to reduce the use of fuel as an energy source for engines. As a background, the generation of polluting emissions and operation of the types of hybrid and electric vehicles are described. Alternative fuels are present as an option to decrease the generation of polluting emissions produced by mobility.





# Resumen ejecutivo

---

Debido a la necesidad de transportar bienes y personas en México y en el mundo, los vehículos automotores juegan un papel sumamente importante en el progreso y desarrollo económico. Sin embargo, el impacto energético y ambiental se ha incrementado en las últimas décadas, teniendo como resultado efectos nocivos en la calidad del aire y el efecto invernadero.

Por su parte, instituciones gubernamentales han implementado políticas de regulación y legislación para mitigar la contaminación del aire y el calentamiento global, en conjunto con los fabricantes de vehículos automotores. Tal es el acuerdo de París, en el que diversos países comprometieron la reducción de las emisiones contaminantes con objeto de evitar el calentamiento global. En este sentido, se han desarrollado nuevas tecnologías en los motores para reducir el consumo de combustible y las emisiones, además de que se han utilizado combustibles alternativos, como los biocombustibles. No obstante, aunque estos últimos reducen las emisiones, no se reduce el consumo, ya que al tener un menor poder calorífico que los combustibles básicos (gasolina y diésel) se requiere más volumen para realizar el mismo trabajo desarrollado. Por tanto, debido al avance tecnológico en los vehículos se ha impulsado el desarrollo de motores eléctricos, con el fin de utilizar energía renovable como fuente motriz para los vehículos.

La movilidad eléctrica juega un papel importante debido a que la energía eléctrica se considera una fuente de energía limpia disponible en la actualidad. Sin embargo, esta tecnología está directamente restringida por la batería de almacenamiento. Aún así, algunos países han obtenido resultados que benefician la reducción de emisiones, por lo que se han desarrollado prototipos de implementación en la red eléctrica para planear rutas estratégicas de recarga.

En este documento se presenta brevemente el panorama actual de la electromovilidad en México y un resumen de los pilares para la promoción de la movilidad eléctrica, así como los avances de algunos países que han desarrollado prototipos de electromovilidad. Como antecedentes, se describe el incremento de las emisiones contaminantes en México, incluyendo combustibles alternativos disponibles para vehículos de combustión interna y los tipos de configuraciones de vehículos híbridos y eléctricos, incluyendo los disponibles en el mercado mexicano. Al respecto, se menciona sobre el registro de vehículos en circulación y vendidos con esta tecnología, así mismo la información de vehículos de autotransporte y los resultados globales de vehículos vendidos y en circulación que utilizan esta tecnología. Este esquema se complementa con los tipos de recarga y los conectores disponibles en el mercado.



# Introducción

---

La población mundial ha estado creciendo aceleradamente, por lo que sus necesidades y patrones de consumo son cada vez más demandantes, incrementando globalmente sus actividades productivas. Consecuentemente, la energía y los materiales necesarios para la producción de bienes y servicios han crecido significativamente.

La movilidad de bienes y personas ha contribuido en el desarrollo económico y social de cada país, haciendo en la actualidad cotidiana imprescindible el uso de los vehículos. Esta situación hace necesario conocer los problemas y efectos que existen en su uso, siendo relevantes temas sobre la seguridad vial, la protección a los ocupantes y la contaminación provocada por los gases de la combustión. Sobre este último, el cambio climático es uno de los impactos más reconocidos a nivel global, regional y local por los efectos de la contaminación del aire por el uso de vehículos con motores de combustión interna.

En México, el transporte es de los mayores generadores de emisiones y de mayor consumo de energía. Los motores de combustión interna, que en su mayoría emplea gasolina o diésel, emiten al ambiente diversos gases que alteran la composición natural y que deterioran la calidad del aire en el ambiente y que, además, afectan la salud del ser humano. Los principales elementos nocivos que se encuentran en los gases de escape son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC) y el material particulado (PM).

Para solucionar el problema de emisiones en los vehículos con motores de combustión interna, organizaciones gubernamentales han desarrollado diversas regulaciones sobre límites máximos permitidos de emisiones. Esto ha conducido a diversos desarrollos tecnológicos, entre los que están biocombustibles y motores eléctricos como fuente de energía principal o secundaria en la propulsión de los vehículos. En esta línea, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de sus diferentes organismos regionales, establecieron lineamientos para asegurar la calidad del aire. Ejemplo de esos lineamientos son el protocolo de Kioto y el acuerdo de París, que tienen por objetivo reducir el calentamiento global provocado por los gases de efecto invernadero.

México participó en la reunión de 2015 de la Conferencia de las Partes (COP-21) celebrada en París, con propuestas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de carbono negro. Las metas sobre el combate del cambio climático

en el mundo, establecidas para alcanzarse en el 2030, incluyen por parte de México la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de 22%, representando un total de 210 Mt, (INECC, 2015). Como parte de los esfuerzos para mitigar la principal fuente de emisiones, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) impulsa a la electromovilidad como una alternativa de transporte social, económica y ambientalmente viable que, además de atender el problema de cambio climático, pretende también mejorar la movilidad y la calidad de vida para las personas. México ha tomado la implementación de la movilidad eléctrica como una solución, ya que los vehículos eléctricos no producen emisiones locales y contribuyen a la reducción de los GEI, lo que ha impulsado tecnologías en la industria automotriz, como la implementación de vehículos y medios de transporte eléctrico.

Para diferenciar los desarrollos en torno a los vehículos que emplean tecnologías de esa clase, se utilizan diversas tipologías dependiendo del tipo o combinación de tecnología que emplean eléctricamente para su operación. Tal es el caso de híbridos eléctricos (HEV, *hybrid electric vehicle*) de híbridos enchufables (PHEV, *Plug-in hybrid electric vehicle*) y eléctricos puros (EV, *electric vehicle*). Otra modalidad es el de pila de combustible de hidrógeno, que genera electricidad a partir del hidrógeno y su combinación con el oxígeno para alimentar una batería eléctrica y, a través de ella, alimentar a un motor eléctrico. Ante la necesidad actual de utilizar los motores de combustión interna, como parte de su evolución tecnológica, se han desarrollado diversas tecnologías con la pretensión de controlar y reducir la emisión de contaminantes. Algunos de estos desarrollos se aplican como elementos o sistemas que mejoran la combustión, mientras que otros se orientan al manejo o tratamiento posterior de los gases de escape. Ya sea que favorezcan o que apliquen un tratamiento a los gases nocivos de la combustión, algunas tecnologías pueden interactuar de manera combinada para mejorar el manejo de las emisiones contaminantes, sin reducir las mejoras de desempeño y rendimiento del motor.

Es el propósito de este estudio describir el estado de la electromovilidad en México, considerando el panorama internacional y la actualización del marco regulatorio para los tipos de cargadores y centros de carga, que permita establecer un criterio de la adaptación para la movilidad sustentable.

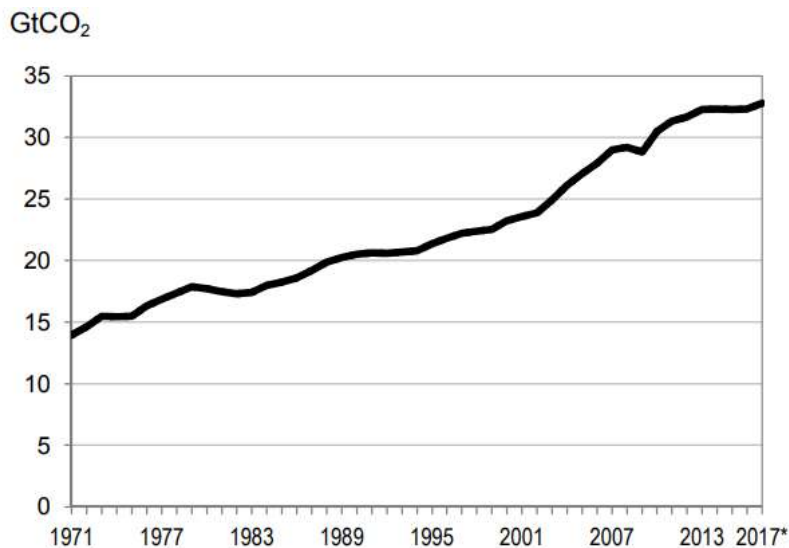
# 1 Antecedentes

---

Actualmente, los vehículos son necesarios en la vida cotidiana para el traslado de bienes y personas. Por tanto, es necesario conocer los problemas que existen en su uso, siendo relevantes temas sobre la seguridad vial, la protección a los ocupantes y la contaminación provocada por los gases de la combustión, entre otros. El vehículo impulsa la sociedad moderna, desde coches, locomotoras, barcos hasta aviones.

## 1.1 Emisiones por combustibles fósiles

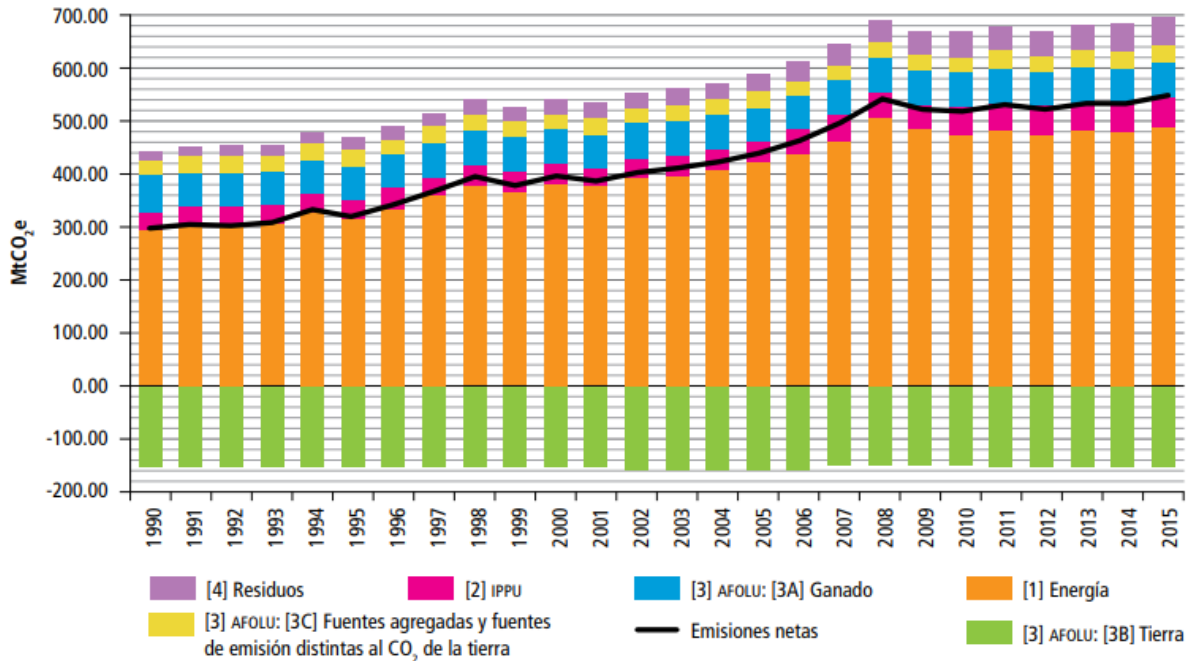
Las emisiones de GEI de los últimos años están elevando la temperatura del planeta. Esto se debe tanto a fuentes naturales como a actividades humanas, donde la quema de combustibles fósiles constituye la principal fuente de GEI, iniciado a partir de la Revolución Industrial del siglo XVIII e intensificado durante la segunda mitad del siglo XX. El volumen de emisión mundial de CO<sub>2</sub> generado por el consumo y quema de combustibles fósiles equivale a más del 70% de las emisiones totales de GEI, (SEMARNAT, 2015). Desde 2013, las emisiones anuales globales de CO<sub>2</sub> de la combustión de combustible fueron de poco más de 32 Gt (10<sup>9</sup> ton) y se mantuvieron relativamente estables hasta 2016, mientras que en 2017 las emisiones aumentaron alrededor de un 1,5%, lideradas por China, India y la Unión Europea, (International Energy Agency, 2018).



Fuente: International Energy Agency (International Energy Agency, 2018)

**Figura 1.1 Tendencia global de las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema de combustible**

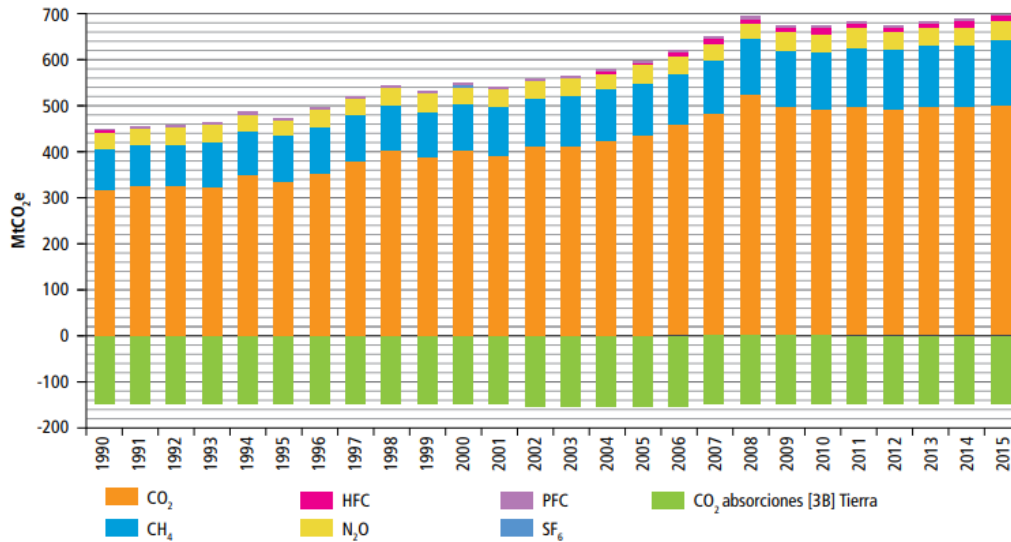
En México, la emisión de GEI se ha incrementado significativamente a través de los años. La información de las tendencias por sector muestra que el de Energía ha sido el que más emite, pues en el año 2015 se registraron 683 Mt de GEI, siendo del 70% (481 Mt) la contribución de este sector, seguido por el Ganado con un 10%, Procesos industriales con el 8%, Residuos con 7% y Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra con 5%. En ese año, se emitió el 71% de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el 21% de metano (CH<sub>4</sub>), el 6% de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), el 1,8% de hidrofluorocarbonos y menos del 1% de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), (INECC, 2018).



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC, 2018)

**Figura 1.2 Emisiones por sector en México**

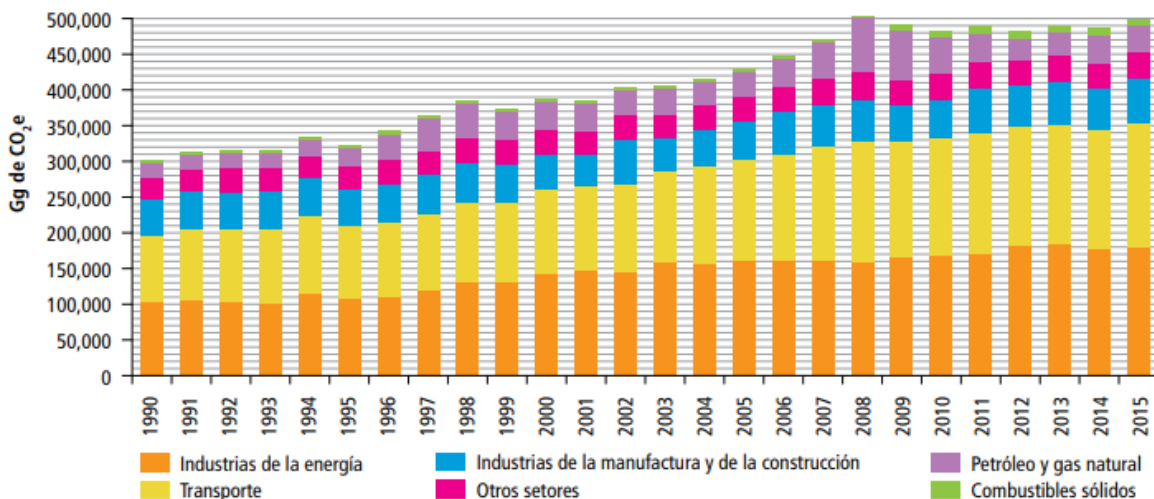
El aumento de la formación por tipo de gas ha tenido un aumento del 59.8% desde 1990 a 2015 (ver figura 1.3), como resultado del uso de combustibles fósiles. En el último registro del año 2015, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fue el más abundante con un 72%, seguido por el metano (CH<sub>4</sub>) con el 20.3%, mientras que el óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) el 5.9%, los hidrofluorocarbonos (HFC) con el 1.8% y el Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) con un 0.02%. Cabe resaltar que algunas han disminuido, como son los Perfluorocarbonos (PFC) y los SF<sub>6</sub>, como un resultado de combustibles con menos azufre, (INECC, 2018).



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC, 2018)

**Figura 1.3 Tendencia de los GEI por tipo de gas**

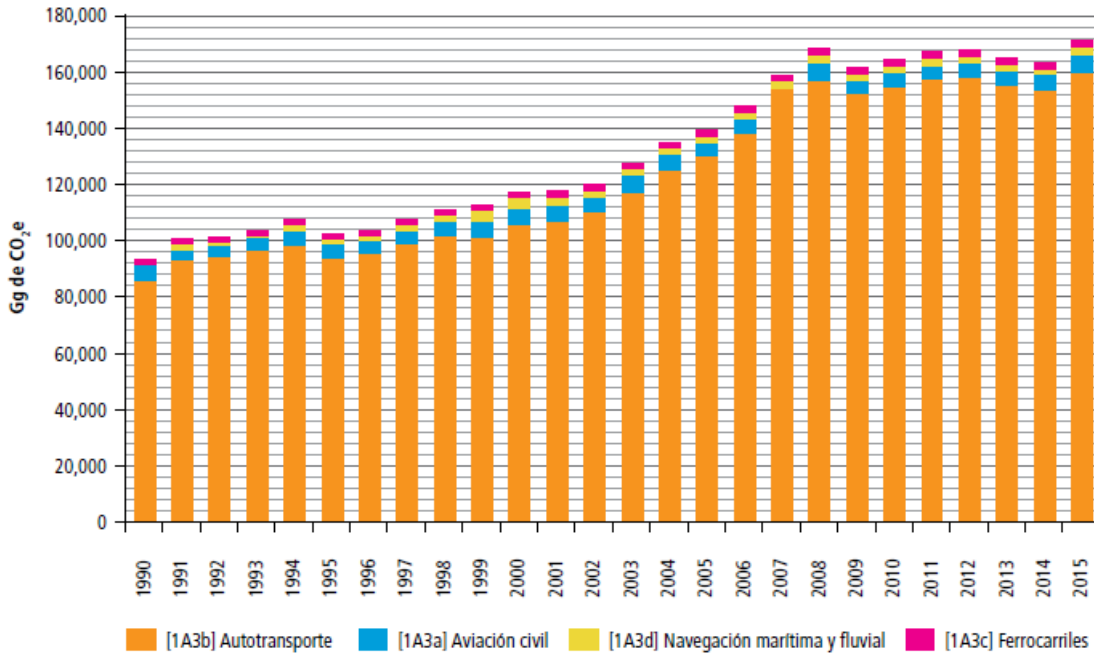
De las emisiones de GEI del sector energía en México, siendo un total de 841 Mt expresadas como CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub> equivalente), el mayor contribuyente en el último año registrado corresponde al sector Transporte, con el 36% (171 Mt). Le siguen el sector Industrias de la energía con un 34% (165 Mt), Industrias manufactureras y el de construcción con un 13% (63 Mt), Petróleo y gas natural con un 7% (37 Mt), Minería de carbonífera y manejo de carbón con un 2% (8 Mt) y otros sectores con un 8% (37 Mt), ver Figura 1.4, (INECC, 2018).



Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC, 2018)

**Figura 1.4 emisiones de GEI del sector energía**

Los GEI del sector transporte proceden de la combustión de combustibles utilizados en el transporte terrestre, aéreo y marítimo. De las 171 Mt, se detecta que el sector con mayor aportación a los GEI es el Autotransporte, que contribuyó con un 93.3%, la Aviación civil con un 3.7%. la navegación marítima y fluvial, y los ferrocarriles con 1.4%.



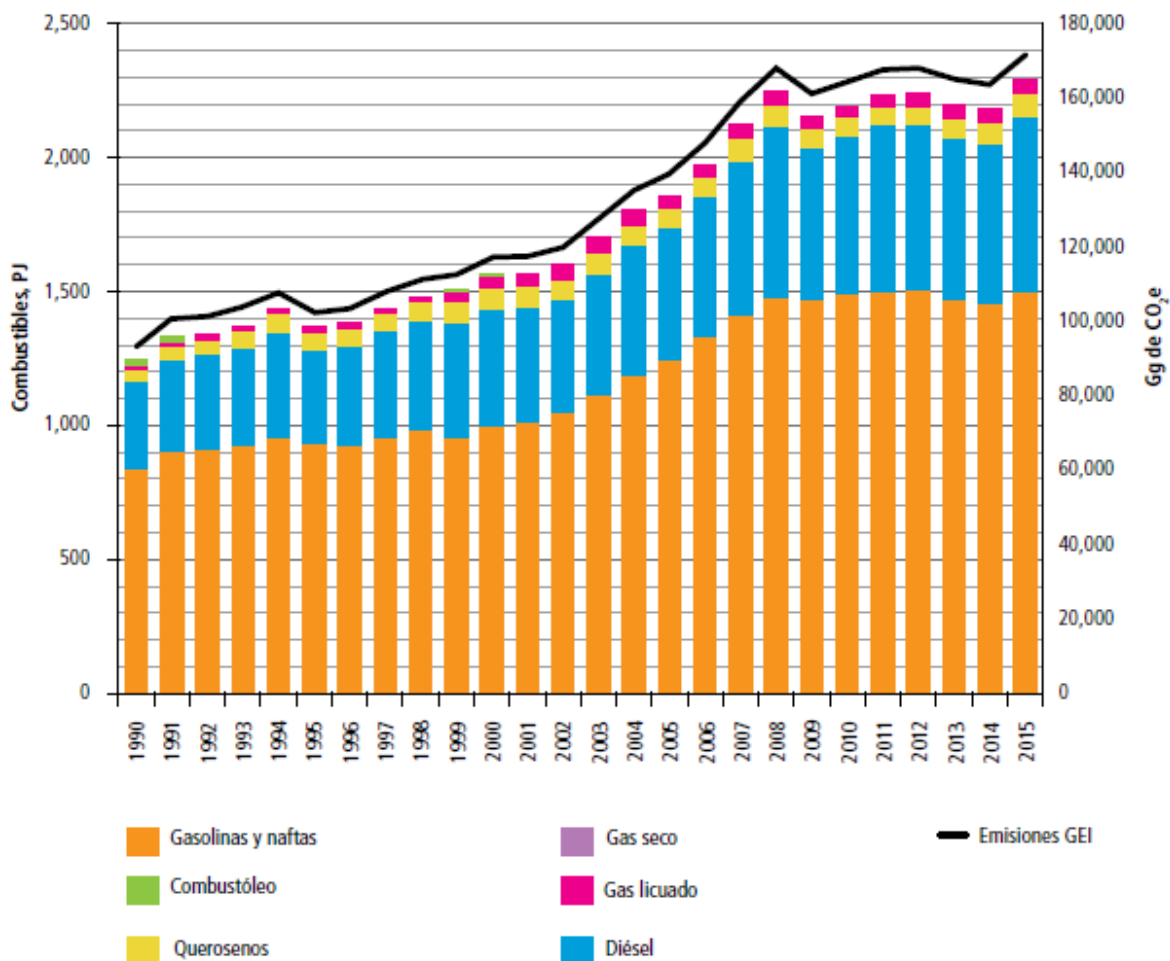
Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC, 2018)

Figura 1.5 Emisiones generados por el sector transporte

## 1.2 Consumo energético y emisiones por tipo de combustible en el sector transporte de México

Debido al incremento de la población y del parque vehicular en nuestro país, los combustibles se han involucrado en su tendencia de crecimiento en el registro de 1990-2015 (ver Figura 1.6); el combustóleo disminuyó en 95%, mientras que la utilización del diésel aumento un 101%, el gas licuado aumentó en 248%, el gas seco en 271% respecto al año 2000; las gasolinas y naftas aumentaron un 78% y los querosenos un 93%. Por tanto, se hace notar que se ha mantenido en los últimos años el consumo de combustibles fósiles debido a otras alternativas para el uso de transporte. En la Figura 1.6 se presenta el consumo energético por tipo de gas en el sector transporte y las emisiones que genera por cada tipo de combustible.





Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INECC, 2018)

**Figura 1.6 Consumo energético y emisiones de GEI por el sector transporte**

### 1.3 Combustibles Alternativos

Aunque en México por lo regular los vehículos con motores de combustión interna utilizan gasolina y diésel como principal fuente de energía, existe una gran diversidad de energéticos secundarios producidos a partir de biomasa, cuya clasificación depende de su estado. Por ejemplo, en sólido (carbón vegetal, briquetas de material celulósico), líquidos (bioetanol, biodiésel) y gaseosos (biogás, bio-hidrógeno), que tienen uso en la generación de calor, de electricidad y, el más conocido, para la generación de energía motriz para el sector transporte. No obstante que presentan características positivas como biodegradabilidad, baja toxicidad, bajos perfiles de emisión, contribuyendo de esta manera a la disminución de gases de efecto invernadero, los inconvenientes que presentan incluyen menor energía que el combustible fósil convencional y que pueden existir problemas de congelación cuando se exponen por debajo de los 0°C. Así mismo, se requiere de

grandes superficies de terreno para obtener la materia prima, además de que, como el caso del biodiésel, se oxida con más rapidez que el diésel, lo que puede generar problemas para su almacenamiento a largo plazo. Otro gran inconveniente es que puede producir más emisiones de NOx, (CONUEE, 2015)

### Etanol

El etanol se obtiene a partir de materia prima que contiene sustancias con alto contenido de sacarosa (como la caña de azúcar, remolacha, sorgo dulce, etc.), almidón (maíz o papas, por ejemplo) o celulosa (madera o residuos agrícolas), ya que éstas se pueden fermentar fácilmente. El porcentaje de etanol en la mezcla varía desde el 5 al 80%, dependiendo del tipo de motor y de las normas y condiciones del país que lo utilice. Por ejemplo, cuando se utiliza E10, se refiere a una mezcla de 10% de etanol y 90% de gasolina de petróleo, mezcal que la mayoría de los fabricantes aprueban el uso. En algunos casos se aprueba el E85, que es una mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina de petróleo y se puede emplear en vehículos de combustible flexible (FFV). Los FFV están especialmente diseñados para que funcionen con gasolina, E85, o una mezcla de los dos. Se ha notado por experiencias de usuarios de este modo de que no hay una diferencia notable en el desempeño de un vehículo cuando se utiliza E85. Sin embargo, los FFV que funcionan con E85 suelen experimentar de 20% a 30% de caída en rendimiento (km/L o mi/gal) debido al más bajo contenido de energía del etanol, (Denton, 2016).

Algunas ventajas y desventajas del etanol:

#### Ventajas

- Reduce el uso del petróleo
- Menos emisiones de contaminantes
- Reduce la vibración del motor
- Inversión adicional mínima

#### Desventajas

- Solo se puede usar en vehículos de combustible flexible
- Menor contenido energético y, por tanto, ofrece un menor rendimiento
- Disponibilidad limitada

### Biodiésel

El biodiésel es un biocombustible derivado de biomasa renovable para uso en motores de combustión interna con ignición por compresión u otro tipo de energía que pueda sustituir, total o parcialmente, algún combustible de origen no renovable. El biodiésel es biodegradable, no tóxico, genera bajos perfiles de emisión, contribuyendo de esta manera a la disminución de gases de efecto invernadero.

El uso de biodiésel en el sector de transporte, específicamente en motores convencionales de combustión interna, reduce las emisiones de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, sulfuros, compuestos aromáticos y material

particulado. Estas reducciones aumentan a medida que se incrementa el contenido de biodiésel en la mezcla, de manera que cuando se utiliza 100% de biodiésel en los motores es posible reducir las emisiones hasta en 75% si se compara con el uso de diésel convencional obtenido del petróleo. El biodiésel es completamente compatible para ser mezclado con diésel proveniente de la industria del petróleo (CONUEE, 2015). Se puede usar en su forma pura (B 100) o mezclado con diésel de petróleo. Las mezclas comunes incluyen el B2 (2% de biodiésel), B5 y B20. Aunque los B2 y B5 se pueden usar con seguridad, en mezclas mayores que B5 el daño que se causa al motor por mezclas más altas no lo cubren algunas garantías de fabricantes, (Denton, 2016).

Algunas ventajas y desventajas del biodiésel.

#### Ventajas

- El biodiesel es un recurso renovable, biodegradable y no tóxico
- Es oxigenado, lo que hace que produzca menores emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados y partículas de humo, contribuyendo a la disminución de los gases de efecto invernadero
- Se puede usar en la mayoría de los motores diésel, especialmente en los más recientes
- Emite menos contaminantes al aire (ni NO<sub>x</sub>) y menos gases de invernadero
- El desempeño de los motores registra diferencias significativas en relación con los combustibles fósiles, debidas a su alto poder lubricante
- Los gases resultantes de la combustión no contienen SO<sub>x</sub>, principales causantes de la lluvia ácida
- Puede reducir las importaciones de diésel en el país

#### Desventajas

- El biodiésel posee alrededor de 8% menos energía por litro que el diésel, viéndose afectada la potencia y el consumo del motor
- Abajo de los 0° C pueden existir problemas de congelación y depósitos en el motor
- El uso de mezclas superiores a B5 aún no se ha aprobado por los fabricantes
- Economía de combustible y potencia más bajos (10% más bajo para B100, 2% para B20)
- Produce más emisiones de óxido nitroso
- En general, el B100 no es útil para su uso en bajas temperaturas
- Hay preocupaciones sobre el impacto del B100 en la durabilidad del motor

#### Gas natural

El gas natural es un combustible fósil que, en su mayor parte, consta de metano, formado por gases extraídos de yacimientos fósiles, ya sea solo o diluido en petróleo. Puesto que el gas natural no es una energía renovable, se ubica, por tanto, en el grupo de energías fósiles y contaminantes.

El gas natural que se utiliza como combustible vehicular es el metano. Su almacenamiento, en estado líquido, necesita una temperatura muy baja y una presión alta para ser aprovechado. El fabricante Bosch desarrolló un sistema para aprovechar el uso de este combustible, el sistema NG12, que disminuye el 25 % de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada combustión. Este gas se puede utilizar en forma de gas natural comprimido (GNC) o de gas licuado natural (GNL) como combustible para automóviles y camiones.

Los vehículos de gas natural están dedicados a consumir únicamente gas natural, en tanto que los vehículos de combustible dual o de combustible biológico pueden funcionar con gasolina o diésel. Los vehículos de combustible dual tienen la ventaja de aprovechar la amplia disponibilidad de combustibles, pero usan una alternativa más limpia y económica cuando hay gas natural disponible. El gas natural se almacena en tanques de combustible de alta presión de modo que los autos de combustible tienen dos sistemas de combustión separados, lo cual implica un espacio extra. Los vehículos de gas natural no se producen comercialmente en grandes cantidades; sin embargo, los vehículos múltiples pueden reajustarse para GNC. A continuación, se mencionan alguna ventajas y desventajas de este combustible alternativo, (Denton, 2016).

#### Ventajas

- Producen de 60% a 90% menos contaminantes
- Generan de 30% a 40% menos emisiones de gases invernadero
- Menos caros que los combustibles de petróleo.

#### Desventajas

- Disponibilidad limitada para vehículos
- Menos confiabilidad
- Tienen menor rendimiento que los combustibles fósiles convencionales

#### Propano

El gas propano o gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible fósil de combustión limpia que se puede utilizar para los motores de combustión interna. Se obtiene durante los procesos de destilación, cuando se separan los componentes básicos del petróleo: gasolinas, naftas, querosenos y otros. Al calentarse el petróleo a altas temperaturas y provocar la separación en sus componentes, los gases son los primeros en llegar a desprenderse para ser extraídos y almacenados. También se puede obtener este gas a partir del gas natural, pero, en ese caso, es a través de un tratamiento de enfriado para la condensación del mismo a líquido, (CONUEE, 2015). Los vehículos con motores para combustible GLP son menos tóxicos y contaminantes del aire, con el hecho particular de que los vehículos con motores a gasolina y diésel se pueden reajustar para que consuman GLP, además del combustible convencional. El GLP se almacena en tanques de combustible de alta presión, por lo que se requiere sistemas de combustible separados en los vehículos

equipados tanto con GLP como con combustible convencional. A continuación, se precisan algunas ventajas y desventajas del GLP, (Denton, 2016):

#### Ventajas

- Menos tóxicos y contaminantes del aire
- Menor precio que la gasolina

#### Desventajas

- No existen comercialmente autos de pasajeros o camiones, pero los vehículos pueden reajustar para que consuman GLP
- Menos disponibilidad que los combustibles específicos
- Menor rendimiento que los combustibles fósiles convencionales

#### Hidrógeno

El hidrógeno (H) se puede producir a partir de combustibles fósiles (como el carbono o el gas natural), energía nuclear o recursos renovables como la energía hidráulica. Para que el hidrógeno sea utilizado como combustible se necesita que esté en estado gaseoso y sea diatómico (H<sub>2</sub>); no obstante que es uno de los elementos más abundantes en el planeta, difícilmente se encuentra en estado puro.

La obtención del hidrógeno se da mediante distintos procesos. El 48% de la generación de hidrógeno se logra por reformación catalítica del gas natural, 30% se obtiene del petróleo, 18% del carbón y tan solo el 4% por electrólisis. El método de reformación catalítica de gas natural es más económico que los otros, pero la desventaja es la contaminación que produce. Este proceso se lleva a cabo integrando el gas natural con vapor de agua a una temperatura entre 700-1100 °C, lo cual genera CO (monóxido de carbono) y H<sub>2</sub>. Otro método de obtención es la electrólisis del agua, que es la separación del oxígeno e hidrógeno por corriente eléctrica y puede ser más rentable si se obtiene la energía eléctrica de fuentes eólicas y de la biomasa, (Denton, 2016).

#### Ventajas

- Se puede producir a partir de varias fuentes, reduciendo la dependencia del petróleo
- Sólo produce NO<sub>x</sub> cuando se quema en motores de combustión interna

#### Desventajas

- Su producción es costosa y sólo está disponible en pocos lugares
- El hidrógeno tiene una densidad de energía más baja que los combustibles de petróleo. Por esta razón es difícil almacenar suficiente hidrógeno en un auto para que se pueda desplazar largas distancias

Esta sección ha dado una visión somera de algunos combustibles alternativos. Todos ofrecen algunas ventajas importantes, ya sea comercial o ambientalmente, o

ambas. Hay también algunas desventajas y la menor de las cuales es que el costo de su producción es alto. Sin embargo, parece un buen cambio a medida que su uso se extienda.

## 1.4 Vehículos híbridos y eléctricos

Se denomina genéricamente vehículo eléctrico a aquél que para ser impulsado utiliza la electricidad como fuente de energía, ya sea de manera parcial o total. Aplicaciones de este tipo han sido promovidas por la necesidad de disminuir las emisiones de gases contaminantes de los vehículos al ambiente, cuyo desarrollo se ha dado de manera pura o combinada. Su denominación se ha establecido de acuerdo al uso de tecnologías con base en la electricidad, definiéndose, en general, tres categorías, siendo el caso de vehículo híbrido (HEV, *hybrid electric vehicle*), híbrido enchufable (PHEV, *Plug-in hybrid electric vehicle*) y eléctrico puro (EV, *electric vehicle*), (U.S. Department of energy, 2015).

Los vehículos híbridos (HEV) combinan el uso de un motor de combustión interna y de un motor eléctrico, utilizando este último la energía almacenada en una batería que, sin embargo, no se conecta a una toma de corriente para recargarse. Por tanto, la batería es cargada a través del frenado regenerativo y del motor de combustión interna, capturando la energía que normalmente se pierde al frenar, usando el motor eléctrico como un generador y guardando esa energía en la batería. Esta batería contribuye también en la alimentación de sistemas auxiliares, además de proveer al vehículo con la capacidad de apagar el motor de combustión interna cuando el vehículo está detenido y encenderlo cuando así se requiera. Existen tres tipos de vehículos híbridos eléctricos no enchufables: los híbridos en serie, en paralelo y una combinación de los dos. En la Figura 1.7 se presenta el esquema del funcionamiento de un tren motriz híbrido en serie. El vehículo se mueve exclusivamente con la energía que suministra el motor eléctrico. La electricidad puede enviarse de su batería o bien de la energía producida por el motor de combustión interna que actúa a modo de generador. El motor, ya sea de gasolina o diésel, no está conectado a las ruedas.

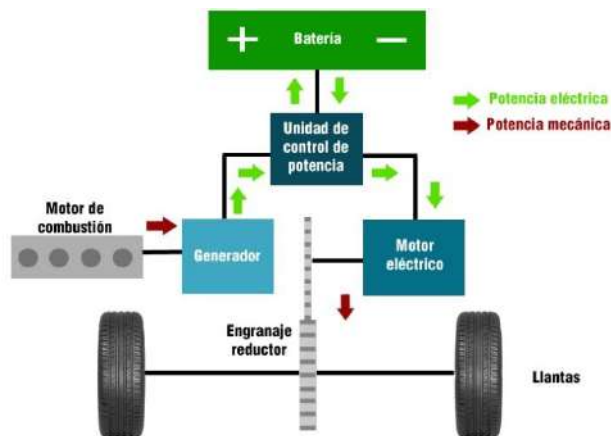
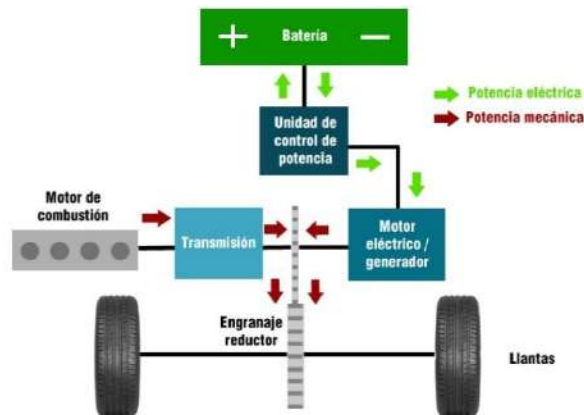


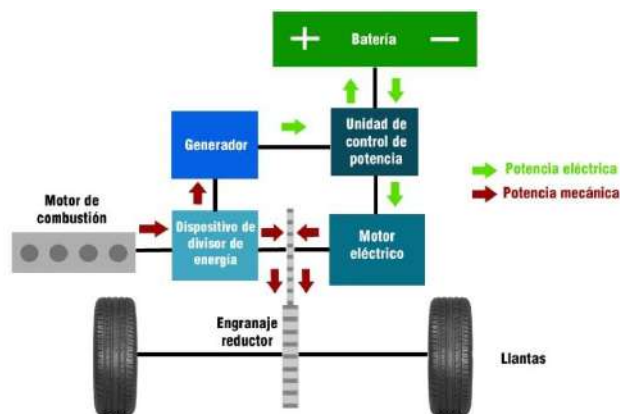
Figura 1.7 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en serie

En la Figura 1.8 se muestra el esquema de un tren motriz de un vehículo en paralelo. Tanto el motor eléctrico como el de combustión interna están conectados a las ruedas del vehículo, siendo el motor de combustión el que lo mueve principalmente. El motor eléctrico ayuda al de combustible en su tarea de mover el coche, siendo la recuperación de la energía de frenada la fuente de alimentación principal de la batería de estos híbridos.



**Figura 1.8 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en paralelo**

El esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido serie-paralelo se presenta en la Figura 1.9 que, como lo indica su nombre, combinan los dos sistemas anteriormente mencionados. La carga de la batería se efectúa tanto por el motor de combustión, como por la frenada regenerativa. El motor de combustión y el motor eléctrico están conectados a la transmisión de forma separada y pueden mover el coche de forma independiente la una de la otra, o en conjunto.

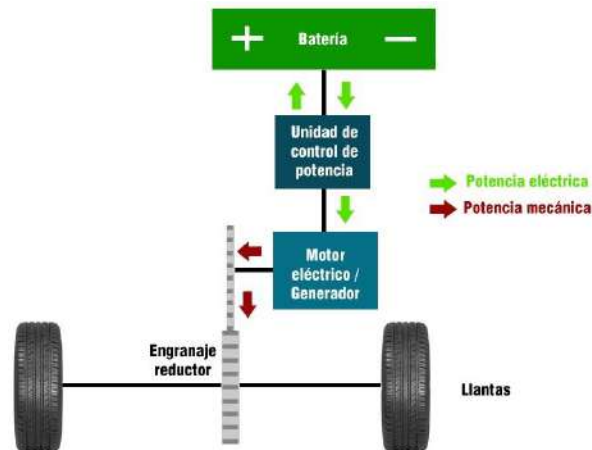


**Figura 1.9 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en serie-paralelo**

Los vehículos híbridos enchufables (PHEV), combinan también el uso de un motor eléctrico con el de un motor de combustión interna. A diferencia de los HEV, los PHEV emplean baterías de mayor capacidad, las cuales se pueden conectar a la red eléctrica para cargarlas, aunque también se pueden cargar a través del motor

de combustión interna y del frenado regenerativo. Al tener baterías de mayor capacidad, incrementan la autonomía de desplazamiento, pues mientras las baterías estén cargadas el vehículo puede funcionar con la electricidad almacenada, particularmente en requerimientos de zonas urbanas. El motor de combustión interna puede impulsar el vehículo cuando la batería está totalmente descargada, durante la aceleración rápida o cuando se alcanza una alta velocidad. Sin embargo, cuando funcionan solamente con la batería, los PHEV no emiten gases de escape, además de que, aunque el motor de combustión interna esté en funcionamiento, consume menos combustible y, por lo general, emiten menos gases de escape que los vehículos convencionales similares.

Los vehículos eléctricos puros (EV) usan baterías para almacenar la energía eléctrica que utilizan uno o más motores, por lo que deben cargarse conectando el vehículo a la red eléctrica, aunque también se pueden cargar mediante el frenado regenerativo. Al no contar con un motor de combustión interna, estos vehículos no emiten gases de escape, aunque se les infieren emisiones que se calculan durante el llamado “ciclo de vida” por los sistemas de producción de electricidad. En la Figura 1.10 se muestra el funcionamiento de un vehículo eléctrico, la dirección de la energía eléctrica y la mecánica.



**Figura 1.10 Esquema de un tren motriz de un vehículo híbrido en serie-paralelo**

Otra modalidad de vehículo eléctrico es el de pila de combustible de hidrógeno (FCEV, *Fuel cell electric vehicle*). El vehículo se acciona mediante un motor eléctrico que obtiene la electricidad a través de una pila que, para generarla, combina el hidrógeno con el oxígeno del aire. Al convertir el gas hidrógeno en electricidad, se produce únicamente agua y calor, por lo que los vehículos no emiten gases contaminantes cuando son conducidos. No obstante, la producción del hidrógeno puede generar gases contaminantes, aunque menores que los generados por los vehículos de combustibles fósiles. Además, una ventaja de este tipo de vehículos es que puede ser recargado en una estación de hidrógeno, con tiempos de carga similares a los de gasolina o diésel, (*U.S. Department of energy, 2015*).

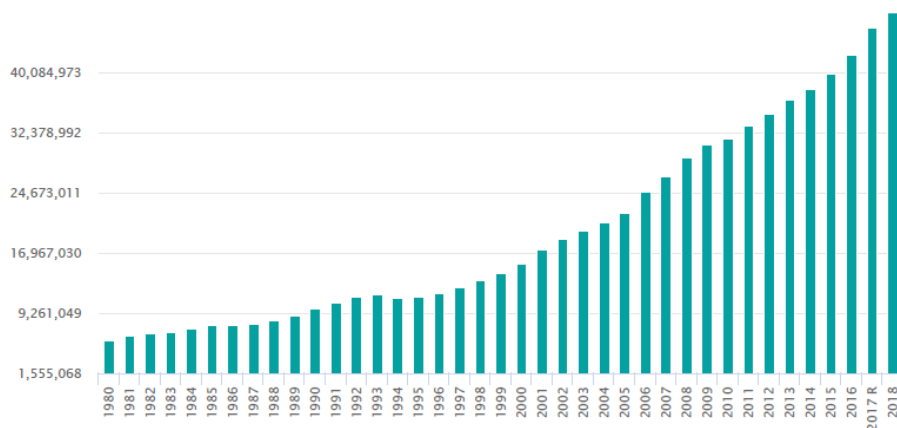


## 2 Movilidad eléctrica en México (vehículos ligeros)

### 2.1 Parque vehicular en México

Un fenómeno importante que ha tenido México es su crecimiento poblacional, siendo un total de 119 938 473 hasta el año 2015, lo que incrementó la actividad industrial y el parque vehicular. Este último alcanzó los 47 790 950 unidades vehiculares registradas en circulación hasta 2018, según lo reportado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), como se aprecia en la Figura 2.1. Del total de vehículos automotores registrados el 67% corresponde a automóviles, el 24% a camiones y camionetas de carga, el 8% a motociclistas y el 1% a camiones para pasajeros.

El incremento de vehículos en circulación, aunque contribuye al crecimiento económico del país, ha producido también mayor contaminación al medio ambiente, principalmente al agua, el suelo y la atmósfera, constituyendo un grave problema de riesgo de salud y daño ambiental que enfrenta la sociedad actualmente. Este problema incrementa por el rápido aumento del parque vehicular, la actividad industrial y la prestación de servicios que demandan, en conjunto, grandes cantidades de energía proveniente de combustibles fósiles, generando, en consecuencia, un volumen importante de emisiones de efecto invernadero y contaminantes. En este contexto, otro indicador particular de la posible evolución en la calidad del aire lo constituye el consumo de energéticos acotados a una determinada región (INEGI, 2019).



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019)

**Figura 2.1 Crecimiento del parque vehicular en México**

## 2.2 Tendencia de los vehículos híbridos y eléctricos en el parque vehicular de México

Según estadísticas de febrero de 2019, en México existe un parque vehicular de 47 790 950 de vehículos en circulación, registrados por los gobiernos estatales y municipales. De ese parque, 32 291 454 corresponden a automóviles, 437 412 a camiones de pasajeros, 10 978 662 a camiones de carga y 4 083 422 corresponde a motocicletas, (INEGI, Parque vehicular, 2019).

El sector de vehículos ligeros en México emplea en gran proporción motores de combustión interna y, aunque la venta de vehículos híbridos y eléctricos se ha incrementado a partir del 2016, sigue siendo una fracción muy pequeña. Esto se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1 Venta de vehículos eléctricos en México respecto al total**

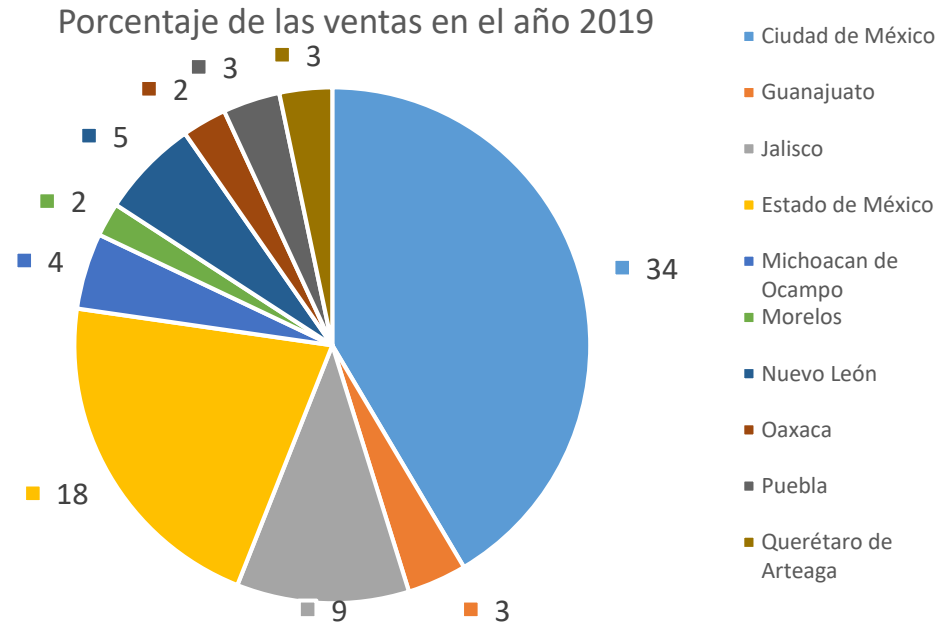
Año	Total vendidos	Vehículos eléctricos				
		HEV	PHEV	EV	Total	% del total
2016	1 607 165	7,490	521	254	8 265	0.514
2017	1 534 827	9 349	968	237	10 554	0.687
2018	1 426 926	16 022	1 584	201	17 807	1.248
2019	1 317 727	23 964	1 339	305	25 608	1.943
2020	436 445	6 717	779	119	7 635	1.749

Notas:

1. HEV: Vehículo Híbrido Eléctrico (Híbrido Electric Vehicle)
2. PHEV: Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable (Plug Híbrido Electric Vehicle)
3. EV: Vehículo Eléctrico (Electric Vehicle)

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (INEGI, 2020)

Según estadísticas del 2019, el 52% de los vehículos con tecnología eléctrica fue comercializado en la Ciudad de México y en el Estado de México (Ver Figura 2.2). Además, de la información se desprende que del 2016 al 2018 la proporción híbrido a eléctrico se incrementó significativamente, siendo de un 0.514% del total 1,607,165, registrado en el año 2016 y 1.749% de las ventas totales de unidades con tecnología eléctrica hasta el mes de junio del año 2020. Este hecho constituye un indicador que muestra que ha incrementado la demanda de centros de carga para vehículos enchufables y totalmente eléctricos. Por tanto, una de las pautas para el impulso de ésta tecnología es la preferencia del consumidor, ya que en gran parte no existe una infraestructura suficientemente extendida para optar por un vehículo netamente eléctrico, donde los híbridos ofrecen la ventaja de seguir empleando, aunque en menor cantidad, combustible fósil, lo que resulta en su mayor autonomía.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020)

**Figura 2.2 Venta de vehículos híbridos y eléctricos enero-octubre 2019**

### 2.3 Electrolineras y centros de carga

A diferencia de los híbridos comunes, que no requieren de carga externa, los vehículos eléctricos puros y los híbridos enchufables requieren de la carga de sus baterías para operar. Esta carga puede ser realizada desde la propia red eléctrica residencial, hasta estaciones propiamente preparadas para manejar magnitudes apropiadas de voltaje y corriente para disminuir los tiempos de recarga, las cuales se denominan comúnmente como “electrolineras”. El establecimiento de las estaciones se establece en tres distintos niveles, de acuerdo a las capacidades de suministro eléctrico manejables para carga, como se indica:

Opciones de equipos de recarga para vehículos eléctricos					
	Amperaje	Voltaje	Kilowatts	Tiempo de carga	Uso principal
Nivel 1 de CA	12 a 16 A	120 V	1,3 a 1,9 kW	3 a 8 kilómetros de autonomía por cada hora de carga	Carga en áreas residenciales y en el lugar de trabajo
Nivel 2 de CA	Hasta 80 A	208 V o 240 V	Hasta 19,2 kW	16 a 32 kilómetros de autonomía por cada hora de carga	Carga en áreas residenciales, en el lugar de trabajo y en espacios públicos
CC de carga rápida	Hasta 200 A	208 a 600 V	50 a 150 kW	96 a 128 kilómetros de autonomía en menos de 20 minutos	Carga en un lugar público

Fuente: U.S. Department of energy, (U.S. Department of energy, 2015)

**Figura 2.3 Niveles de capacidad de carga para vehículos eléctricos**

Aunque las características generales de las estaciones de carga están ya establecidas, para una inclusión masiva se deberán resolver problemas existentes de compatibilidad por particularidades de vehículos y proveedores. Esto incluye la disponibilidad de la energía eléctrica de acuerdo a la electrolinera, así como la adecuada preparación de los vehículos para poder conectarse, que prevea el desarrollo de tecnologías de recarga rápida. Es indispensable una infraestructura establecida de electrolineras para asegurar una adecuada operación y funcionamiento en el marco de la movilidad eléctrica. Esto conlleva desarrollos de características técnicas y tecnológicas de los vehículos, de incrementos de la capacidad de carga de baterías y de logísticas de rendimiento de energía y la consolidación de una red eléctrica inteligente para su carga a través de disponibilidad en estaciones para asegurar la operación de los vehículos eléctricos. Así mismo, un reto adicional relacionado con el suministro de energía, es la heterogeneidad en la capacidad de transmisión y distribución en el país, la cual resulta en nodos congestionados y limita la electrificación homogénea.

La industria automotriz en México ha visto el potencial y las ventajas que tiene la movilidad eléctrica y ha desempeñado un papel activo en la inversión en infraestructura. La instalación de la primera estación de carga rápida en la Ciudad de México ocurrió en 2011, con un cargador Nivel 3 en la Colonia Roma. De manera paralela, la ciudad de Aguascalientes, Ags., sumó esfuerzos con el inicio del programa Zero Emisiones y la instalación de 58 cargadores Nivel 2, (SEMARNAT, 2018).

La CFE ha impulsado el despliegue de infraestructura para autos eléctricos e híbridos enchufables. En coordinación con la SENER y el Comité Técnico del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) elaboran el Programa para la Promoción de la Electromovilidad por medio de la Inversión en Infraestructura de Recarga (PEII). El programa contemplaba la instalación de 100 electrolineras en sitios de acceso público en las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, (SEMARNAT, 2018). Debido a que el inmueble donde se instale absorbe el costo de la energía, la recarga es gratuita para el usuario final, además de universalidad, pues la infraestructura instalada puede ser compatible con todos los vehículos eléctricos que actualmente están en el mercado nacional.

Como parte del PEII, la CFE se coordina con la Ciudad de México y la industria automotriz para la construcción de la primera red troncal de electrolineras en México. El plan es que la red conecte diez entidades federativas con electrolineras de carga rápida, expandiendo la infraestructura existente en las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara. Según información a junio de 2018, en el país había instaladas 1 528 electrolineras públicas, de las cuales la mayoría se encuentran en la Ciudad de México (21%); Nuevo León (11%) y Jalisco (9%), (SEMARNAT, 2018).



Fuente: Imagen extraída de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, (SEMARNAT, 2018)

**Figura 2.4 : Red nacional de electrolineras de carga rápida**

## 2.4 Conectores para la recarga del vehículo eléctrico

Los conectores eléctricos son necesarios para el uso de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables, pues forman parte del proceso de recarga. Existen diferentes conectores para estos vehículos y esto deriva del fabricante. Los conectores usados en vehículos eléctricos, tanto en motos, autos, autobuses y camiones son muy diversos. Existe una amplia gama de conectores en el mercado para los vehículos híbridos enchufables y eléctricos, debido a que cada fabricante diseña su propio conector. Se han encontrado conectores dependiendo a su región geográfica, como son alemanas, americanas, japonesas, italianas o francesas. En la actualidad, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) se encarga de la normalización, al mismo tiempo que en los Estados Unidos de América la SAE (Society of Automotive Engineers), que estandariza también algunos conectores. Debido a esto, asociaciones como los fabricantes japoneses se han unido para diseñar y desarrollar su propio conector, por lo con el paso del tiempo la tendencia es estandarizar cada vez más los conectores y los puntos de recarga.

Todos los vehículos eléctricos llevan incorporado en su interior un cargador cuya misión es convertir la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua para poder ser almacenada en las baterías. Esto conlleva importantes aumentos de temperatura que evidencian el riesgo de sobrecalentamiento cuando las intensidades y los tiempos de carga son elevados. Por este motivo, se limita la potencia que pueden manejar estos rectificadores; para más de 250V e intensidades superiores a 75A se aconseja que una estación de recarga suministre de manera directa a las baterías la corriente continua, realizando la transformación CA/CC fuera del vehículo. Para este tipo de recarga los conectores usados son; CHAdeMO, CCS Combo y SAE J1772 Combo. Estos tres conectores pueden encontrarse en

las estaciones de recarga rápida, siendo el CCS el elegido como estándar tanto por fabricantes europeos como americanos.

El conector CHAdeMO (ver Figura 2.5), es un conector de recarga rápida compatible con el protocolo chino GB/T, desarrollado junto al Consejo de Electricidad de China, capaz de alcanzar los 900 kW de potencia. Es el conector utilizado por todos los fabricantes japoneses, ya que ha sido desarrollado por una asociación de fabricantes formada por TEPCO, Nissan, Mitsubishi, Toyota y Subaru. Está diseñado exclusivamente para una recarga rápida en corriente continua, es decir, en Modo 4, y se ajusta al estándar IEC 62196-3 donde se le conoce como Tipo 4. El nombre CHAdeMO es la abreviatura de CHarge de MOve. Tiene hasta diez bornes, siendo una de las tomas de corriente de mayor tamaño, cuya comunicación se realiza mediante CAN bus. Es el conector con la red más densa de estaciones de recarga, debido a la agresiva estrategia de Nissan de dar la mayor cobertura a sus clientes.



Fuente: Imagen extraída del sitio web de <http://electromovilidad.net/conectores-para-la-recarga-del-vehiculo-electrico/>. (Electromovilidad, 2020)

### **Figura 2.5 Conector CHAdeMO**

De los 10 pines que posee el conector, 2 corresponden a la potencia de carga, 7 a transmisión de señales y 1 está libre de asignación. Este conector es capaz de suministrar corriente continua de hasta 200A y 500V, logrando recargas ultrarápidas. Normalmente su proceso de carga comienza a 110A hasta alcanzar el 50% de la capacidad de la batería, tras esto sigue a 44A hasta el 80%, y finaliza la recarga a 14A. Ofrece hasta 62.5 kW de potencia máxima. Este conector lo emplean Nissan Leaf, Mercedes Clase B EV, Mitsubishi i-MiEV, Peugeot Ion, Citroën C-Zero, Fiat 500e, Subaru Plug-in Stella y Micro-vett Fiorino, (Electromovilidad, 2020).

El conector SAE J1772 o Tipo 1 (Figura 2.6), fue impulsado en Estados Unidos (EUA) por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers), siendo uno de los conectores más utilizados a nivel mundial, especialmente por fabricantes automovilísticos americanos y asiáticos. Pueden encontrarse puntos de recarga de Tipo 1 en casi cualquier país con este mercado, diseñados para sistemas eléctricos monofásicos con 120 V o 240 V, como los utilizados en América del Norte y Japón. Sus características técnicas son contar con 5 pines (L1, L2/N, PE, CP, CS). El J1772-2009 ha sido diseñado para tensiones de hasta 250V y corrientes monofásicas de hasta 80A, capaz de suministrar una potencia máxima de 19.2 kW, siendo lo habitual recargas de 32A y 7.4 kW.



Fuente: Imagen extraída del sitio web de <http://electromovilidad.net/conectores-para-la-recarga-del-vehiculo-electrico/>. (Electromovilidad, 2020)

**Figura 2.6 Cargador SAE J1772 o tipo 1**

El conector es redondo, de 43 mm (1.7 in) de diámetro, con pines de tres tamaños diferentes. Algunos de los modelos que utilizan un conector tipo 1 SAE J1772 son Nissan Leaf, Chevrolet Bolt Eléctrico, Chevrolet Volt Híbrido, Fisker Karma, Coda Automotive sedan, Toyota Prius Plug-in Hybrid, Mitsubishi i MiEV, Honda Fit EV (concept), Ford Focus Electric, Smart electric drive, Tesla Roadster, Tesla Model S, OKA NEV ZEV AC, Th!nk City, Renault, Kangoo Z.E. (230 V – 16 A max.), Renault Fluence Z.E., BMW ActiveE, (Electromovilidad, 2020).

El conector VDE-AR-E 2623-2-2 (ver Figura 2.7) fue desarrollado por la empresa alemana Mennekes con la colaboración de RWE y Daimler. Debido a la norma IEC 62196-2 también se le llama Tipo 2. La Asociación Europea de Constructores (ACEA) ha acordado que sea el estándar europeo, de ahí que esté llevando a cabo una importante expansión, aunque uno de sus inconvenientes es su elevado precio. Por este motivo lo utilizan prácticamente todos los fabricantes alemanes y Renault en su ZOE. Tiene siete bornes, cuatro para corriente (trifásica), uno de tierra y dos para comunicaciones. Es compatible con todos los tipos de recarga en CA, Modo 2 y especialmente Modo 3, siendo este último modo junto con este conector la combinación favorita de la UE. Dentro de sus características técnicas están sus 7 pines (L1, L2, L3, N, PE, CP, PP), para corrientes monofásicas de 16A y trifásicas de hasta 63A, voltajes de 100V a 500V y potencias de 3.7 kW hasta 43.5 kW. Tiene bloqueo de clavija, pero para mayor protección se deben añadir accesorios como obturadores que aumentan su coste. Se puede encontrar en: Audi Sportback e-tron. BMW i3, Porsche Panamera Hybrid, Renault ZOE, Tesla Model S, VW e-Up! y VW e-Golf.



Fuente: Imagen extraída del sitio web de <http://electromovilidad.net/conectores-para-la-recarga-del-vehiculo-electrico/>. (Electromovilidad, 2020)

**Figura 2.7 Conector VDE-AR-E 2623-2-2 o tipo 2**

El conector SCAME, Figura 2.8, fue creado en 2010 por la alianza llamada “EV Plug Alliance”, formada, entre otros, por el fabricante italiano Scame, el alemán Schneider Electric y el francés Legrand. Conocido por el nombre de uno de sus fabricantes, también es denominado Tipo 3 por la norma IEC 62196-2. Aparte de utilizarse en la Fórmula E, es usado en pequeños vehículos eléctricos, permitiendo una recarga semi-rápida con corriente alterna. Además, dispone de soluciones técnicas y de protección que ninguno de los otros conectores ofrece, por lo que es la mejor opción para situar en el lado de la pared o infraestructura de recarga. Además, al estar limitado a 32A es bastante más económico que otros cargadores.

El conector cuenta con 7 pines (L1, L2, L3, N, PE, CP, PP), preparado para corrientes monofásica y trifásica de hasta 32A, 22 kW de potencia máxima y <500V. Posee obturadores de protección que impiden el acceso a los bornes, además de bloqueo de clavija y tapa. Adicionalmente, se dispone de diferentes modelos de 4,5 o 7 pines, según la potencia requerida.



Fuente: Imagen extraída del sitio web de <http://electromovilidad.net/conectores-para-la-recarga-del-vehiculo-electrico/>. (Electromovilidad, 2020)

### Figura 2.8 Conector SCAME o tipo 3

El conector CCS (*Combined Charging System*), mostrado en la Figura 2.9, es un conector diseñado por Norteamérica y Alemania como solución global para la recarga en CC. Debido a que se basa en una toma Tipo 2 a la que se le han añadido 2 pins de potencia para CC, también se le conoce como Combo2. Este sistema de carga combinado fue aprobado a finales de 2011 en Alemania, acordando siete fabricantes (Audi, BMW, Daimler, Ford, General Motors, Porsche y Volkswagen) instalarlo en sus vehículos. Las ventajas de este conector es que permite que por el lado del coche tengamos sitio para un Tipo 1 o Tipo 2 junto con el espacio destinado a los 2 pines de continua, permitiendo hasta 200A, por lo que abre el abanico de recargas a aquellos coches que lo montan.



Fuente: Imagen extraída del sitio web de <http://electromovilidad.net/conectores-para-la-recarga-del-vehiculo-electrico/>. (Electromovilidad, 2020)

### Figura 2.9 Conector CSS



El conector posee 5 pines (2 de Potencia, PE,CP,PP), permitiendo hasta 850V y 200A, aunque habitualmente no se sobrepasan los 125A, pudiendo llegar a potencias de 100 kW. Utiliza como protocolo de comunicación HomePlug GreenPHY y se puede encontrar en vehículos BMW i3, VW e-Up! y VW e-Golf, (Electromovilidad, 2020).

## 2.5 Vehículos disponibles en México

De acuerdo con un reporte de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), en México se ha incrementado la venta de vehículos híbridos y eléctricos, siendo significativos a partir de 2016. Los beneficios de este tipo de autos son positivos, dada su amigabilidad con el medio ambiente y su bajo o nulo consumo de combustible. Algunas modelos y marcas representativas disponibles en México, se muestran en las tablas 2.1 y 2.2 siguientes.

**Tabla 2.2 Vehículos híbridos en México,**

Marca	Autonomía (km/l)	Precio (2019), MN (MX)
Toyota Prius C	-	329,500
Toyota Prius	-	289,400
Toyota RAV4	-	578,900
Camry híbrido		599,900
Ford Fusion Híbrido 2019	25.6	618,600
Honda Insinght hybrid	31.5	549,900
Nissan X-Trail Hybrid	-	595,900
Kia Niro	26	486,900
Chevrolet Volt enchufable	676 km	717,800
Mercedes Benz GLE 500e	27.3	1,566,000
Mercedes Benz GLC 350 e	-	1,239,000
BMW 530e híbrido Plug-in	16	1,079,900

Fuente: Fabricante de cada marca de vehículo.

**Tabla 2.3 Vehículos eléctricos disponibles de México**

Marca	Autonomía (km)	Precio (2019), MN (MX)
Tesla Model 3	499	805,700
Tesla Model S	539	1,933,000
Tesla Model X	475	2,032,900
Tesla Model Y	483	1,002,400
Jaguar I-Peace	470	2,060,400
Chevrolet Bolt EV	383	806,300
BMW i3	380	879,900
BMW i3s	380	889,900
Nissan Leaf	240	696,500
Zacua MX2 y MX3	160	569,000
Renault Twizy	100	319,300

Fuente: Fabricante de cada marca de vehículo.

## 2.6 Incentivos a la movilidad eléctrica

Los avances de la movilidad eléctrica se han logrado, entre otros, a través de esquemas gubernamentales que promueven incentivos para favorecer el uso de tecnologías que disminuyan la contaminación del aire y los efectos en el cambio climático. El gobierno de México publicó un decreto que presenta los beneficios de utilizar un vehículo eléctrico, como Impuesto sobre la Renta, Ley del Impuesto del Valor Agregado, el Código Fiscal de la Federación y de la Ley del Impuesto sobre Automóviles Nuevos, siendo éste el principal incentivo. En la siguiente tabla se presentan los que se han establecido para este tipo de vehículos.

**Tabla 2.4 Incentivos para la movilidad eléctrica en vehículos**

Incentivo	Descripción
Exención del ISAN	Los vehículos eléctricos no pagan el Impuesto sobre Automóviles Nuevos.
Exención del pago de la tenencia	Exención del pago de tenencia en la mayoría de los estados. En el Estado de México no se paga tenencia durante los primeros cinco años, después se paga con un 50% de descuento.
Engomado E /	En la Ciudad y el Estado de México se asigna un engomado especial para identificar a los vehículos eléctricos.
Exención de la Verificación Ambiental	Los vehículos eléctricos, dada las tecnologías utilizadas para su propulsión y el no producir emisiones contaminantes, están exentos del programa de verificación vehicular que implica revisión de emisiones semestrales y la restricción del programa "hoy no circula".
Deducibilidad del ISR para la adquisición de electrolineras	En los criterios Generales de Política Económica para la Iniciativa de Ley de Ingresos y el Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación correspondientes al Ejercicio Fiscal de 2017, se establece un crédito fiscal para deducir el 30% del ISR de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos de acceso público.
Eliminación de aranceles	Eliminación de aranceles para la importación de vehículos que utilizan motor eléctrico, incluyendo automóviles, camionetas y camiones de carga. Esto aplica para las empresas que estén suscritas al decreto para el apoyo de la competitividad, según lo propuesto por la Secretaría de Economía.
Placas de auto ecológico	Identificar a los vehículos que cuentan con tecnología híbrida o eléctrica.
ECOTAG	Descuento en vías de cuota: Descuento especial de 20% para autos eléctricos e híbridos en las vías de TeleVía en la Ciudad de México. (Autopista Urbana Norte, Autopista Urbana Poniente y Autopista Urbana Sur).
Medidor adicional	Para promover la adopción de VE, la CFE instala en el hogar del propietario de un auto enchufable un medidor independiente para facturar exclusivamente el consumo de la electrolinera y conservar el nivel de tarifa doméstica.
Estacionamientos preferentes	ChargeNow y muchos establecimientos en la Ciudad de México, ofrecen a sus visitantes que utilizan vehículos híbridos y eléctricos lugares de estacionamientos preferentes y/o con estación de carga.

Fuente: ChargeNow (*Charge Now*, 2019). Secretaría de Hacienda y Crédito Público, (*SHCP*, 2017). Servicio de Administración Tributaria, (*Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión*, 2018)

Por otro lado, la CONUEE, como órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, es responsable de emitir los lineamientos aplicables a las flotas vehiculares de la APF. Entre tales lineamientos, se considerará que un porcentaje de los vehículos arrendados o comprados por el gobierno sean eléctricos o híbridos enchufables, (*SEMARNAT*, 2018).

## **3 Movilidad eléctrica en México (Autotransporte)**

---

### **3.1 Autotransporte con tecnología eléctrica**

La tecnología eléctrica en los vehículos ligeros se ha impulsado notablemente a través del tiempo. Casi de manera paralela, los fabricantes de autobuses y camiones también se han interesado en incorporarla, ya que tiene beneficios como la reducción de la contaminación del aire, de ruido, de consumo de combustible y en mitigar el cambio climático.

Los autobuses y camiones con este tipo de tecnología han sido probados en países como Europa, China, Estados Unidos y Japón, entre otros. La producción de los vehículos de autotransporte de pasaje y carga no se hace de forma masiva debido al alto costo en comparación a los vehículos convencionales. En el corto plazo, el desarrollo de vehículos pesados eléctricos se ha limitado a aplicaciones específicas en la que se ha adecuado la tecnología eléctrica, ya que muchos aspectos sobre sus capacidades no tienen aún respuesta, particularmente por los largos recorridos requeridos por el autotransporte. Algunos fabricantes bien establecidos han hecho inversiones sobre la tecnología eléctrica, preparándose para competir en este segmento emergente.

De acuerdo a la Agencia Internacional de la Energía, que compara las eficiencias energéticas de motores de combustible fósil y eléctrico, indica que un camión moderno con un motor de combustión puede lograr eficiencias del motor a la rueda de no más de 30%, mientras que los camiones eléctricos pueden alcanzar eficiencias de tren motriz a rueda de hasta 85% o más. En general, un motor de combustión interna convierte aproximadamente el 44 al 46% de la energía del combustible en trabajo. En contraparte, los motores eléctricos, cuya eficiencia ronda el 95%, convierten en trabajo mecánico la energía química que proviene de la batería, produciendo entre 85% y 95% de eficiencia eléctrica a mecánica del tren motriz para que sea transmitido a las llantas y realice el desplazamiento del vehículo, (IEA, 2019).

En vehículos de carga en México, el fabricante HINO presentó recientemente el HINO Serie 300 Híbrido (Figura 3.1), disponible en modelos 516, 616, 716 y 816. Los cuatro modelos cuentan con la misma versión de motor diésel EURO IV con potencia máxima de 148 HP @ 2 500 RPM y un par máximo de 310 lb-pie @ 1 400 RPM, combinado con un motor eléctrico de una potencia máxima de 49 HP y un par máximo de 258 lb-pie @1 000 RPM. Las características que distinguen a estos modelos son las capacidades carga, dimensiones, velocidad máxima y especificaciones técnicas del tren motriz, (HINO, 2018).



Fuente: Fuente: Imagen extraída de sitio web de Hino Motors Sales México S.A de C.V. (HINO, 2018)

**Figura 3.1 Camión HINO Serie 300 Híbrido**

En el 2011, la empresa Sueca Volvo introdujo una flota de 54 autobuses modelos 7700 para la línea 4 del Metrobús del sistema BRT de la CDMX, de los cuales 8 fueron híbridos diésel-eléctrico (Figura 3.2) y 46 convencionales con motor diésel que cumplían con la norma de emisiones EURO V, actualmente en circulación. Los autobuses híbridos reciclan la energía del frenado para transformarla en eléctrica y la almacenan en un set de baterías recargables de ion-litio. El motor eléctrico actúa para arrancar y acelerar el autobús y, a partir de 20 km/h, es relevado por un motor a diésel de 5 L. De esta forma, el vehículo ahorra 30% de combustible y emite 95% menos contaminantes que los microbuses que actualmente circulan como transporte público, (VOLVO, 2011).



Fuente: Fuente: Imagen extraída de la página Metrobús de la Ciudad de México, (MB Metrobús, 2019).

**Figura 3.2 Autobús Volvo 7700 híbrido**

En sus modelos actuales, Volvo Buses México ofrece un autobús híbrido diésel-eléctrico modelo 7900 (Figura 3.3), que, según su propia información, reduce emisiones de CO<sub>2</sub> hasta un 35% y, si incluye NO<sub>x</sub> y partículas, las emisiones se reducirían aproximadamente un 50%. Posee un motor Volvo diésel EURO V, con una potencia de 215 HP y un motor eléctrico VOLVO I-SAM con una potencia de 160 kW y 800 Nm de par. Cuando se encuentra en modo eléctrico, el autobús híbrido es silencioso, lo cual constituye otra ventaja fundamental para el medioambiente, (VOLVO, 2019).



Fuente: Volvo Buses México, (VOLVO, 2019)

**Figura 3.3 Autobús modelo 7900 híbrido**

Según el Anuario de Camiones Pesados 2019 publicado por la Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones (ANPACT), además de autobuses híbridos, Volvo Buses México ha puesto a la venta su nuevo modelo 7900 eléctrico (Figura 3.4). Tal modelo cuenta con un motor eléctrico de 180 kW de potencia máxima y un par máximo de 425 Nm. La energía eléctrica es almacenada en baterías litio-ion de alta capacidad, de 150, 200 y 250 kW/h a un voltaje de 600V, (ANPACT, 2019).



Fuente: Imagen extraída del Anuario de Camiones Pesados, (ANPACT, 2019).

**Figura 3.4 Volvo 7900 Eléctrico**

## 3.2 Transporte urbano electrificado

Los sistemas de movilidad en las grandes ciudades están también cambiando debido a la mayor conciencia medioambiental, sumada al cambio de mentalidad respecto al uso compartido y las restricciones al tráfico por los niveles de emisiones en grandes ciudades. Se espera que cada día sean más los ciudadanos que apuestan por dejar atrás su vehículo particular y desplazarse en una de las múltiples opciones disponibles a su alcance, siendo el transporte público masivo electrificado una alternativa viable.

Esto se refuerza por niveles de contaminación máximos históricos en la mayoría de grandes ciudades, lo que hace que la movilidad compartida se profile no solo como una solución, sino también como una necesidad. La Ciudad de México es un claro ejemplo para la electromovilidad masiva, con una población de más de ocho millones de personas que residen en la ciudad, además del llamado Valle de México, que genera una población en conjunto con la Ciudad de México de más de 20 millones de personas. Los modos de transporte masivos eléctricos son el Metro, Tren ligero, Trolebús y Teleférico.

El Sistema de Transporte Colectivo (Metro CDMX), es un sistema de transporte público tipo tren metropolitano (ver Figura 3.5), que sirve a extensas áreas de la Ciudad de México Su operación y explotación está a cargo del organismo público descentralizado denominado Sistema de Transporte Colectivo (STC). Inaugurado en septiembre de 1969, con una longitud de 226.5 km en servicio, 12 líneas y 390 trenes y vagones, es un sistema de transporte que traslada a millones de personas cada año. Cuenta con un sistema de tracción-frenado con semiconductores y control electrónico, lo que permite aumentar la fiabilidad y reducir los costos de operación y mantenimiento, debido a que tienen mayor eficiencia en la recuperación de energía durante la etapa de frenado eléctrico. En la Tabla 3.1 se presentan la información por año de los kilómetros recorridos, los pasajeros transportados y la energía consumida (Sistema de Transporte Colectivo, 2019).

**Tabla 3.1 Datos estadísticos de pasajeros transportando en el sistema de transporte colectivo**

Año	kilómetros recorridos (miles de kilómetros)	Pasajeros transportados (miles de pasajeros)	Energía eléctrica consumida (miles de kWh)
2015	1 402.5	51 481.4	1 148 843.0
2016	1 483.0	52 674.9	1 169 544.8
2017	1 453.3	51 306.4	1 156 502.7
2018	1 449.0	52 354.1	1 048 554.1

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2019)



Fuente: Imagen del sitio web del Sistema de Transporte Colectivo. (STC, 2019)

**Figura 3.5 Metro de la Ciudad de México**

La Ciudad de México cuenta también con un sistema de transporte de pasajeros llamado Trolebús (ver Figura 3.6), un autobús eléctrico que se conecta a la red eléctrica de la ciudad a través de un pantógrafo. Dispone de ocho líneas, con una longitud total de 204 km, una flota de 290 vehículos que operan en intervalos de cada 4 minutos, (Servicio de Transportes Eléctricos, 2019). En la Tabla 3.2 se presentan los datos estadísticos de los últimos años de los kilómetros recorridos, los pasajeros transportados y el ingreso al transporte.

**Tabla 3.2 Datos estadísticos del sistema de transporte trolebús**

Año	Kilómetros recorridos (miles de km)	Pasajeros transportados (miles de pasajeros)	Ingresos (miles de pesos)
2015	14 128.8	71 452.0	184 355.1
2016	14 169.5	73 749.4	134 150.9
2017	12 165.4	55 432.6	144 386.9
2018	11 542.4	48 566.0	119 979.8

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2019)



Fuente: Imagen del sitio web del Sistema de Transporte Colectivo. (STC, 2019)

**Figura 3.6 Trolebús de la Ciudad de México**

El tren ligero (ver Figura 3.7), es un sistema de transporte guiado que presta servicio en el sur de la Ciudad de México. Es administrado por el organismo público descentralizado de la red de Servicio de Transportes Eléctricos de la CDMX, el cual opera prestando un servicio de transporte no contaminante a las Delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco. Brinda su servicio a través de 16 estaciones y 2 terminales mediante 20 trenes dobles acoplados con doble cabina de mando, con capacidad máxima de 374 pasajeros por unidad en una línea de 13.04 kilómetros, (Servicio de Transportes Eléctricos, 2019) En la Tabla 3.3 se presentan los datos estadísticos de los últimos años de este transporte.

**Tabla 3.3 Datos estadísticos del transporte tren ligero**

Año	Kilómetros recorridos (miles de km)	Pasajeros transportados (miles de pasajeros)	Ingresos (miles de pesos)
2015	2 089.1	32 539.3	87 770.3
2016	2 105.4	35 062.4	64 480.7
2017	1 802.5	30 340.1	78 724.0
2018	1 707.6	33 767.1	89 796.3

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI, 2019)



Fuente: Imagen del sitio web del Sistema de Transporte Colectivo. (STC, 2019)

**Figura 3.7 Tren ligero de la Ciudad de México**

El Sistema de Transporte Teleférico, llamado Mexicable (ver figura 3.8), es un sistema para el traslado de personas en zonas de difícil acceso para el transporte colectivo convencional. Esta obra fue construida en el 2014 en el municipio de Ecatepec, Estado de México, e inaugurada en 2016, beneficiando principalmente la región de San Andrés de la Cañada y comunidades periféricas a la ciudad de México. Cuenta con dos motores capaces de generar más de mil caballos de fuerza cada uno y siete estaciones, con una distancia total de 4.9 km. La instalación tiene una capacidad máxima de 3 000 usuarios hora-sentido, los cuales son transportados de manera ágil, cómoda y segura en sus 185 cabinas, logrando un recorrido en aproximadamente 19 min. Las cabinas tienen una capacidad máxima de 10 personas. (Sistema de Transportes Teleférico, 2019).



Fuente: Imagen copiada del sitio web del Sistema de Transporte Colectivo. (STC, 2019)



### Figura 3.8 Sistema de transporte público teleférico

Así mismo, en otras ciudades de nuestro país se encuentran sistemas de transporte que operan con energías limpias, como es el caso de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, el cual tiene un sistema de transporte colectivo coloquialmente denominado como metro (ver Figura 3.9). Éste es un sistema de tren ligero eléctrico compuesto por una longitud de 33 km, 32 estaciones en 2 líneas que conectan los extremos de la ciudad, contando con un total de 84 vehículos doblemente articulados que operan a una velocidad máxima de 80 km/h y moviendo en promedio 550 000 pasajeros por día. Este transporte funciona con energía renovable para hacer un transporte libre de emisiones, producido por la compañía Benlesa. La energía eléctrica se obtiene a través de la quema del biogás en centrales termoeléctricas, obteniendo el biogás a través de la descomposición orgánica de desechos sólidos, (Metrorrey, 2019).



Fuente: Imagen sitio web del Sistema de Transporte Colectivo Metrorrey, (Metrorrey, 2019)

### Figura 3.9 Sistema de transporte colectivo Metrorrey

La ciudad de Guadalajara Jalisco cuenta también con servicio urbano electrificado, el cual tiene la finalidad de tener una mayor movilidad de personas en la ciudad debido al conflicto por congestión del tránsito. Uno de ellos es el Trolebús (ver Figura), que es operado por el Sistema de Tren Eléctrico Urbano (SITEUR), cuya finalidad es brindar la energía eléctrica a este modo de transporte. El Trolebús cubre una longitud de 34 kilómetros, 54 estaciones y 25 vehículos, que alcanzan una velocidad de 50 km/h, conectando la zona poniente con el oriente de la ciudad.



Fuente: Imagen sitio web del Sistema de Tren Eléctrico Urbano, (SITEUR, 2020).

### Figura 3.10 Trolebús de la ciudad de Guadalajara

También dispone de un tren eléctrico urbano o tren ligero (ver Figura 3.11) que cubre una longitud de 25 kilómetros para conectar la ciudad. Cuenta con 30 estaciones, 160 trenes y alcanzan una velocidad máxima de 35 km/h, trasporta en promedio 269,288 pasajeros al día. Estos modos de transporte tienen la finalidad de agilizar la movilidad de personas en la ciudad de Guadalajara, con el compromiso de disminuir la emisión de gases contaminantes al aire e impulsando la movilidad con energías limpias, (SITEUR, 2020).



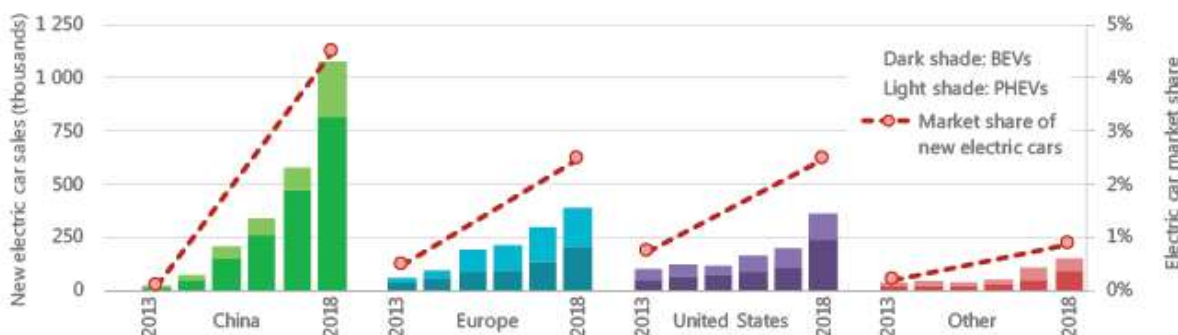
Fuente: Imagen sitio web del Sistema de Tren Eléctrico Urbano, (SITEUR, 2020).

**Figura 3.11 Tren ligero de la ciudad de Guadalajara**

## 4 Panorama internacional de los vehículos eléctricos

### 4.1 La electromovilidad en el mundo

Algunos países han adoptado la electromovilidad como una opción de emigrar a una nueva tecnología de transporte limpio y fuentes de energías renovables, con objeto de disminuir la contaminación al medio ambiente y disminuir los efectos de gases de efecto invernadero. En los últimos años, la electromovilidad ha evolucionado e incrementado de manera significativa en países desarrollados, pues en 2018 la flota mundial de automóviles eléctricos superó los 5.1 millones, 63% más que en el 2017. El país con un mayor impulso a la movilidad eléctrica es China, ya que cuenta con la mayor flota de vehículos eléctricos ligeros alrededor de un 45%, que representa 2.3 millones, seguido por Europa con 1.2 millones de automóviles eléctricos con el 24% de la flota vehicular a nivel mundial, y los Estados Unidos con un 1.1 millones de vehículos eléctricos en circulación, con el 22%. En la Figura 4.1 se observa la flota vehicular en los países con mayor participación con unidades vehiculares que utilizan la energía eléctrica como propulsión, (IEA, 2019).



Nota:

BEVs= Vehículos totalmente eléctricos (sobra oscura de las gráficas), PHEVs= Vehículos híbridos enchufables. Europa incluye Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía y Reino Unido.

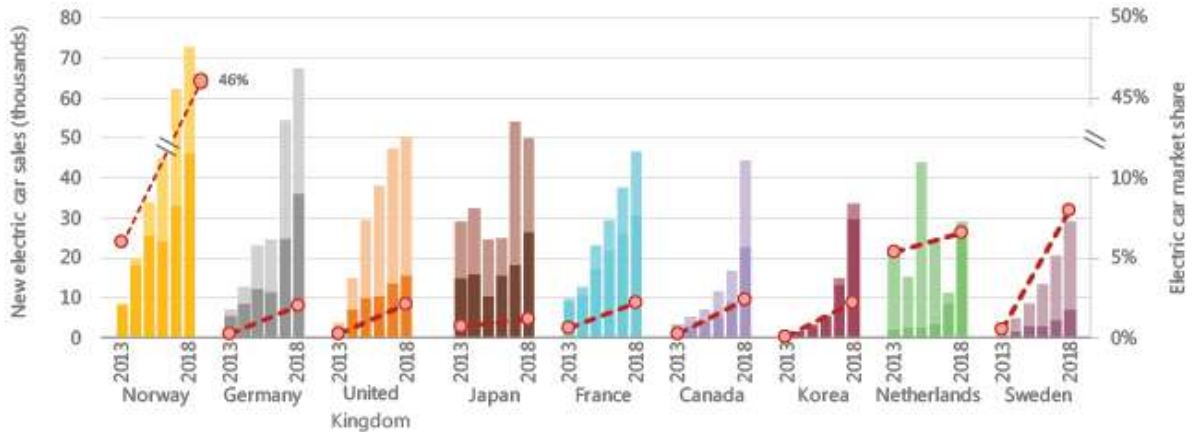
Otro incluye a Australia, Brasil, Chile, India, Japón, Corea, Malasia, México, Nuevo Zelanda, Sudáfrica y Tailandia.

Fuente: Imagen del documento Global EV Outlook 2019, (IEA, 2019)

**Figura 4.1 Ventas globales de automóviles eléctricos**

## 4.2 Vehículos ligeros

Noruega fue el líder mundial, en términos de participación en el mercado de automóviles eléctricos con un 46% de sus ventas de automóviles eléctricos en el año 2018, y disponer el 10% de la flota mundial. La segunda mayor participación de mercado fue Islandia, con un 17%, y la tercera más alta corresponde a Suecia, con 8%, como se observa las tasas de crecimiento en la Figura 4.2, (IEA, 2019).



Fuente: Imagen del documento Global EV Outlook 2019, (IEA, 2019)

**Figura 4.2 Participación del mercado global de vehículos eléctricos**

Cabe destacar que respecto a los 5.2 millones de vehículos registrados a nivel mundial para vehículos ligeros, así mismo se registró en 2018 un estimado de 5.2 millones de cargadores en todo el mundo para vehículos ligeros (Ver figura 4.3), siendo la mayoría de carga lenta (niveles 1 y 2, en hogares y lugares de trabajo), complementados por 540 000 cargadores de acceso público (incluidos 150 000 cargadores de carga rápida para vehículos ligeros, el 78% ubicado en China). También se registraron 157 000 cargadores para autobuses de carga rápida, por lo que en total se tiene más de 300 000 cargadores de carga rápida en el mundo.



Fuente: Imagen del documento Global EV Outlook 2019, (IEA, 2019)

**Figura 4.3 Infraestructura global de cargadores eléctricos del 2013 al 2018**

Por otra parte, los vehículos eléctricos de dos o tres ruedas superaron los 300 millones de participación en circulación en el año 2018, siendo China el mayor vendedor de estas unidades y teniendo la mayor cantidad en circulación.

Existen vehículos de baja velocidad eléctricos (Low Speed Electric Vehicles) por sus siglas en inglés LSEV. Éste tipo de vehículos se utilizan para el transporte de pasajeros carga (ver Figura 4.4), son medios pensados para el uso en los centros de las grandes ciudades, en los centros turísticos y en las grandes empresas. Un vehículo de baja velocidad se define como aquél de motor, de cuatro ruedas, que tiene una clasificación de peso bruto menor a 3 000 libras (1 400 kg) y una velocidad máxima de entre 20 y 25 mph (32 a 40 km/h). Sin embargo, los LSEV son vehículos significativamente más pequeños que los automóviles eléctricos convencionales, hasta el punto de que no están sujetos a los mismos requisitos oficiales de aprobación y registro que los automóviles de pasajeros. Por otra parte, en 2018 se registraron 5 millones de unidades, siendo 700 000 unidades más que en el 2017, ubicados en China.



Fuente: Imagen extraída en sitio web, (Wikipedia, 2020)

#### **Figura 4.4 Vehículo eléctrico para pasajeros de baja velocidad**

Los scooters eléctricos de pie son vehículos eléctricos unitarios que ofrecen una alternativa de movilidad en las grandes ciudades para que el usuario se transporte principalmente en zonas de congestión vehicular. El scooter de pie opera alrededor del mundo en 129 ciudades de los Estados Unidos, 30 en Europa 7 en Asia, 6 en Australia, entre otras, así mismo, en la Ciudad de México. La flota mundial de vehículos eléctricos de dos y tres ruedas era de 260 millones a fines de 2018.

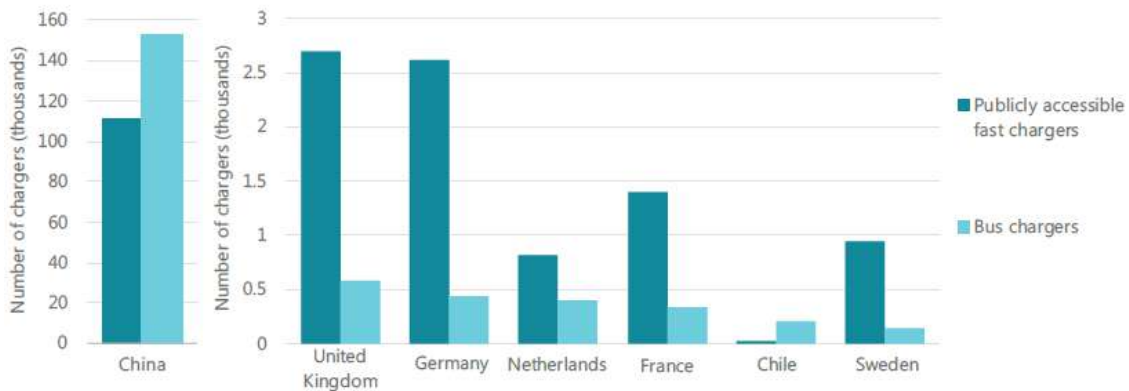
### **4.3 Autotransporte**

La flota mundial de autobuses eléctricos aumentó en un 25% en 2018 con respecto a 2017, llegando a alrededor de 460 mil vehículos. En este escenario, China representa el 99% del mercado mundial de autobuses eléctricos. En 2018, se registraron más de 92 mil nuevos autobuses eléctricos, frente a 104 mil en 2017 respecto a 2016.

En otros países se registraron alrededor de 900 autobuses eléctricos en 2018, principalmente en Europa. América Latina tuvo su primer lanzamiento con 200 autobuses eléctricos en Chile y 40 en Ecuador. Se realizó una licitación para la

adquisición de autobuses eléctricos en India. Hay más de 300 autobuses eléctricos en los Estados Unidos.

La infraestructura dedicada a los autobuses eléctricos alcanzó aproximadamente 157 000 cargadores en 2018. La mayoría se encuentra en China con 153 000 cargadores, donde el número aumentó en un 25% desde 2017, mientras que cargadores de autobuses eléctricos en Europa alcanzaron los 3,000 en 2018. En China, el número de cargadores de autobuses no solo se destaca en comparación con cualquier otro país, sino que también supera el nivel de cargadores rápidos disponibles públicamente para automóviles de pasajeros. La magnitud similar de los cargadores rápidos para autobuses y automóviles en China, un país donde incluso la relación entre el cargador rápido y el automóvil eléctrico tiende a ser alta, ilustra que los autobuses tienen actualmente una relevancia muy significativa en el desarrollo del mercado de cargadores rápidos. En la Figura 4.4 se presentan los cargadores de autobuses eléctricos (en color azul ligero) y cargadores públicos de carga rápida (color azul oscuro), la gráfica se describe en miles de cargadores. Por tanto, los cargadores de autobuses son un impulsor importante del despliegue global de cargadores rápidos. En China, que tenía 153 000 cargadores de autobús en 2018, los cargadores rápidos dedicados para autobuses superan el número de cargadores rápidos de acceso público.



Notas: En China, la flota de autobuses se basa principalmente en la carga de depósito. Shenzhen tiene aproximadamente un cargador por cada tres autobuses (Lu, Lulu y Zhou, 2018). En otras regiones, la relación está más cerca de un cargador por autobús.

Fuente: Imagen del documento Global EV Outlook 2019, (IEA, 2019)

**Figura 4.5 Cargadores de autobús dedicados y cargadores rápidos de acceso al público por país, 2018**

La flota mundial de autobuses eléctricos se abastece de electricidad mediante cargadores ubicados en depósitos o al final de las rutas de autobuses. La carga de depósito es el régimen común en las principales operaciones de autobuses eléctricos en China, por ejemplo, en la ciudad de Shenzhen, donde circulan más de 16 000 autobuses eléctricos. Las recientes expansiones de flotas de autobuses en Europa y América Latina utilizan la carga de depósito o una combinación de carga de depósito y carga rápida a lo largo de las rutas (Tabla 4.1). Una revisión en más

de 90 ciudades europeas, que en conjunto representan casi 750 autobuses eléctricos, muestra que aproximadamente el 90% utilizan la carga de depósito nocturno. Sin embargo, casi todos también utilizan la carga rápida durante las horas de operación, principalmente la carga del pantógrafo.

Las opciones para los regímenes de carga tienen como objetivo optimizar las operaciones de autobuses y costos y son específicos de la ubicación para acomodar las características del sistema de transporte respectivo, así como el régimen regulatorio. Las tarifas de electricidad, fuera de horas punta, ofrecen bajos costos de combustible para la carga de depósito durante la noche, además de no ser necesario ajustar las operaciones o capacitar a los conductores para los procedimientos de carga. Sin embargo, los autobuses que usan este método de carga requieren baterías más grandes que los autobuses que también se cargan durante las horas de operación, lo que conlleva costos de batería más altos y precios de compra de vehículos. El desarrollo de los costos de la batería puede afectar las tendencias del mercado para los regímenes de carga de autobuses, en los que la disminución de los costos de la batería puede llevar a la industria a una carga nocturna en los depósitos.

La siguiente tabla contempla una selección de proyectos recientes de autobuses eléctricos con al menos 20 unidades. Los depósitos brindan estacionamiento durante las horas no operativas, mientras que las terminales son estaciones de autobuses más grandes (por ejemplo, la estación de fin de línea).

**Tabla 4.1 Régimen de carga de operaciones de autobuses eléctricos**

Ciudad	Número de vehículos	Fabricante	Régimen de carga
Santiago de Chile, Chile	100	BYD	Deposito nocturno de carga con 100 cargadores
Santiago de Chile, Chile	100	Yutong	Recarga en terminal
Indore, India	40	Tata Motor Limited	2 cargas a lo largo de la ruta
Kolkata, India	40	Tata Motor Limited	40 cargadores
Leiden, Países Bajos	23	Volvo	Cargado en terminal
Nottingham, Inglaterra	45	Optare	Cargado en terminal y en deposito
París, Francia	23	Bluebus	Deposito nocturno de carga
Aeropuerto Schipol, Países Bajos	100	VDL	Carga en terminal (45kW) y depósito de carga nocturna (30kW)
Shenzhen, China	>16 000	BYD, Nanjing, Golden Dragon	Principalmente durante la noche de depósito de carga

Fuente: Tabla del documento Global EV Outlook 2019, (IEA, 2019)

La adopción de camiones eléctricos ha tenido un gran impacto para el transporte de carga, que principalmente se centra en las zonas urbanas debido a que facilita la optimización de la recarga a lo largo de las rutas. Por lo tanto, los viajes urbanos tienen menores requisitos de capacidad de batería, es decir que si se requiere que el vehículo recorra largas distancias se necesita un mayor almacenamiento de baterías, especialmente donde es limitada la carga de alta potencia en la carretera a lo largo de los principales corredores de larga distancia. Además, los camiones eléctricos tienen acceso más fácil en las ciudades con regulaciones estrictas con el

ruido y la contaminación del aire respecto a los camiones diésel, lo cual es una ventaja competitiva potencial para los camiones eléctricos. El tamaño varía desde vehículos de tamaño medio, de aproximadamente 16 ton de carga útil (rango de 200-300 km y capacidad de batería de 100-300 kWh), hasta tractores que transportan hasta 37 ton (rango de 100 km y capacidad de batería de 170 kWh). Las iniciativas políticas despiertan el creciente interés en camiones de servicio mediano y pesado de bajas o cero emisiones de las principales empresas de logística y el atractivo de la opción eléctrica de la batería desde una perspectiva de costo (entregas urbanas). Por tanto, es probable que en los próximos años se tenga un mercado más amplio de vehículos eléctricos de carga pesada, (IEA, 2019).

En el transporte de carga se registraron menores ventas en comparación con otros vehículos ligeros eléctricos, debido al costo y a que el peso bruto vehicular repercute directamente en la capacidad de las baterías. Entre más peso transportan, requieren más energía y más almacenamiento para alcanzar una autonomía aceptable.

Existen vehículos ligeros comerciales (LCV), siendo vehículos de transporte de mercancías con un peso bruto vehicular (PBV) de carga máxima no superior a 3,5 toneladas. En 2018 alcanzaron un valor total de 250 000 unidades refiriéndose a los vehículos de carga de distribución, siendo 138 000 en China, correspondiendo al 57% de la flota global, mientras que en 38% en Europa, correspondiendo a una flota de 92 000. En México se utilizan este tipo de vehículos para el proceso última milla. Éste, es el proceso que transcurre desde que el paquete sale del último punto de distribución (almacén o centro de distribución) hasta que llega al lugar de entrega, es el último de toda la cadena de distribución. Por tanto, ya circulan estos vehículos para el reparto de mercancía, como es el caso del Grupo Bimbo, a principios del año 2020 anunció su flota de vehículos eléctricos última milla, correspondiendo a un total de cien vehículos totalmente eléctricos y 400 híbridos, que ya circulan en la Ciudad de México, Toluca, Puebla, Monterrey, Guadalajara y Cozumel. Teniendo una capacidad de 1.2 ton para un recorrido cargado de 70 km o 100 km en vacío. Los comentarios de Javier González Franco, director general adjunto de Bimbo fueron que cada unidad, permite ahorrar 3.4 ton de CO<sub>2</sub>, (Forbes México, 2020).



Fuente: Imagen de Grupo Bimbo, extraída del sitio web Forbes México, (Forbes México, 2020).

**Figura 4.6 Vehículo eléctrico para reparto de mercancía del Grupo Bimbo**



Mientras que camiones medianos oscilaron entre 1 000 y 2 000 unidades, principalmente en China, donde la flota vehicular de este tipo de vehículos supera los 5 000 vehículos en circulación. En ese mismo año, los fabricantes de camiones anunciaron planes de electrificar sus productos poner a disposición algunos modelos en el mercado. Algunas compañías que anunciaron modelos eléctricos fueron Daimler y BYD, los cuales ya están disponibles comercialmente; otros anunciaron su producción únicamente sobre pedido, como Navistar, Volkswagen, Thor Trucks y Tesla, que se refieren a la introducción de camiones eléctricos de medio a largo recorrido. Tesla y Freightliner anunciaron camiones de clase 8 totalmente eléctricos de mayor alcance, con rangos eléctricos de 480 a 960 km. También se han desarrollado vehículos híbridos eléctricos, como el caso de Nikola, que utilizan hidrogeno (H<sub>2</sub>) como fuente de energía para producir la electricidad en las baterías, alcanzando autonomías más altas que las de los vehículos eléctricos. En la Tabla 4.2, se presenta un listado de algunos vehículos eléctricos de carga existentes en el mercado, atendiendo a su peso bruto vehicular, autonomía y la disponibilidad en el mercado.

**Tabla 4.2 Vehículos eléctricos de carga disponible en el mercado internacional**

Vehículo	Peso Bruto Vehicular	Autonomía	Disponibilidad
Cummins Aeos	34	161	Sobre pedido
Tesla Semi (long range)	36	805	Próximo a producción
Tesla Semi (standard)	36	483	Sobre pedido
Freightliner eCascadia	36	400	Actualmente producido
Freightliner eM2	12	370	Actualmente producido
Volvo FL electric	16	300	Sobre pedido
Thor Trucks ET-One	36	483	Sobre pedido
Mercedes Benz eActros	25	200	Actualmente producido
Renault Trucks D Z.E.	17	300	Sobre pedido
VW e-Delivery	11	200	Anunciado
Man eTGM	26	200	Sobre pedido
E-Fuso Vision One	11	350	Anunciado
E-Fuso eCanter	8	100	Actualmente producido
E-Force One	18	-	Actualmente producido
Isuzu Ev Truck	7	100	Actualmente producido
BYD T5	7.5	250	Actualmente producido
BYD T7	11	200	Actualmente producido
BYD T9	36	200	Actualmente producido
Nikola One Electric	36	160-560	Sobre pedido
Nikola One H2-electric	36	800-1 200	Sobre pedido
Nikola Two Electric	36	160-560	Sobre pedido
Nikola Two H2-electric	36	800-1 200	Sobre pedido

Notas: Algunos valores pueden variar debido a que los modelos de los vehículos se van actualizando respecto al avance tecnológico de las baterías.

Fuente: Elaboración propia con información de cada fabricante y del documento Global EV Outlook 2019, (IEA, 2019)

De acuerdo a reportes de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la flota global de vehículos eléctricos en 2018 consumió aproximadamente 58 teravatios-hora (TWh) de electricidad correspondiendo el 80% a China, en gran parte atribuible a que emplea el 55% de vehículos eléctricos, particularmente por el uso de unidades de dos ruedas en China. La flota vehicular mundial de vehículos eléctricos en 2018 emitió alrededor de 38 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>eq), comparada con las emisiones de 78 Mt CO<sub>2</sub>eq que habría emitido una flota equivalente de motores de combustión interna, lo que lleva a un ahorro neto del despliegue de los vehículos eléctricos de 40 Mt CO<sub>2</sub>eq en 2018, (IEA, 2019).

## **4.4 Otras tecnologías en el transporte para la movilidad eléctrica**

En países desarrollados se han desarrollado prototipos sobre movilidad eléctrica en el transporte con el fin de reducir la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones contaminantes al medio ambiente. Esto, con apoyo de programas gubernamentales y la industria automotriz.

### **4.4.1 Ehighway**

En Suecia, en junio de 2016 se abrió al público la autopista denominada e-Highway, primera en su tipo, desarrollado por Scania y Siemens y financiado por la Administración de Transporte de Suecia (Trafikverket). El objetivo general fue la evaluación del sistema de carreteras eléctricas antes de su introducción en la red públicas de carreteras, que consiste en este caso de la electrificación de un tramo (dos km) de la autopista E16, al norte de Estocolmo. El tramo dispone de una red de energía eléctrica que se conecta a los vehículos a través de un sistema tipo pantógrafo, similar al que usan los trenes y los tranvías, transmitiendo la energía a los vehículos híbridos enchufables eléctricos en serie de carga. El funcionamiento de este sistema conecta a los camiones a la red eléctrica (catenaria) con un enganche de energía extensible que sale desde la parte superior del vehículo, a través de unos sensores que la detectan. El camión funciona con un motor de combustión (diésel) que activa al generador, el cual produce la energía para alimentar al motor eléctrico. Cuando el vehículo se conecta a la catenaria, el motor de combustión deja de trabajar y, por tanto, la energía eléctrica pasa directamente del pantógrafo al generador y, posteriormente, del motor eléctrico a las ruedas de tracción. En la Figura 4.5 se observa la e-Highway de Suecia, (Siemens, 2017).



Fuente: Imagen del documento ehighway 2017, en PDF, en sitio web de Siemens, (Siemens, 2017).

### **Figura 4.7 Autopista eléctrica e-Highway en Suecia**

Otro prototipo más se desarrolló en el estado de California, EE.UU (ver figura 4.5), cuyo propósito es promover la implementación de tecnologías en movimiento de mercancías cero emisiones. El proyecto incluye varios camiones, uno de los cuales se proporciona en colaboración con Mack, una marca del Grupo Volvo. Los camiones híbridos en este proyecto están equipados con varias tecnologías alternativas de combustible; por ejemplo, un camión híbrido de gas natural y un camión totalmente eléctrico. Usando un camino de una milla de largo (1.6 km) con líneas de contacto que van en ambas direcciones, recopila datos y evalúa los beneficios de las operaciones de eHighway para el sur de California, especialmente para las operaciones de transporte de carga intensamente utilizadas que conectan los puertos cercanos de Los Ángeles y Long Beach con patios ferroviarios locales.



Fuente: Imagen del documento ehighway 2017, en PDF, en sitio web de Siemens, (Siemens, 2017).

### **Figura 4.8 Prototipo eHighway en California, EE.UU.**

Además de Suecia y EE.UU, Alemania incorporó una e-highway en 2017 de 10 km en la autopista A5, entre el intercambio Zeppelinheim - Cargo City Süd en el aeropuerto de Frankfurt y el intercambio Darmstadt-Weiterstadt. Éste fue

desarrollado por Siemens y fue puesta en servicio en 2018, (Siemens, 2018). Su función principal es la solución a la mitigación de emisiones y reducir el consumo de combustible fósil. En cuanto a la operación, facilita la recarga de vehículos híbridos y proporciona la energía al motor eléctrico. El proyecto tiene contemplado ejecutar pruebas de campo hasta el año 2022, acorde con Siemens, el socio de investigación TU Darmstadt y el proveedor de electricidad. Scania suministró cinco camiones híbridos de línea para este proyecto, con un total de 15 camiones para las pruebas de campo.



Fuente: Imagen del sitio web de Siemens, (Siemens, 2018).

**Figura 4.9 Autopista eléctrica ehighway en Alemania**

#### **4.4.2 Sistema de alimentación por suelo**

Alstom y Volvo presentaron el proyecto carreteras eléctricas, como una alternativa sostenible para el transporte de mercancías de larga distancia en camiones híbridos. El programa, que cuenta con el apoyo de la Agencia Sueca de Energía, completó la fase de ensayos a finales de 2015.

El objetivo del proyecto propuso aplicar a las carreteras el sistema de alimentación por suelo (APS) de Alstom, que utilizan los tranvías Citadis desde 2003 como alternativa a la catenaria. Al igual que en la tecnología tranviaria, la solución planteada consiste en la introducción de un carril conductor en la vía (dos líneas de alimentación eléctrica en el asfalto, en este caso) para que suministre electricidad al vehículo durante la marcha, por lo que el vehículo cuenta con un colector de corriente en contacto con las líneas de energía.

Las líneas de alimentación corren a lo largo de toda la longitud de la carretera y, al igual que sucede con los tranvías actualmente en funcionamiento con esta tecnología, cuentan con un sistema inteligente para que la corriente solo circule cuando el vehículo se encuentra sobre ellas. Un colector de electricidad montado en la parte trasera o debajo del camión emite una señal específica que activa el sistema y permite que circule la corriente eléctrica sólo en ese momento (ver figura 4.8).



Fuente: Imagen del sitio web de Siemens, (Siemens, 2018).

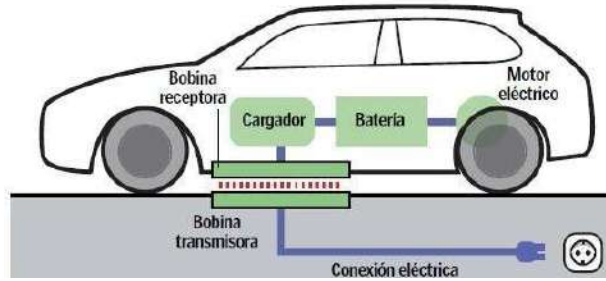
#### **Figura 4.10 Sistema de alimentación por suelo a un vehículo de carga híbrido**

Este sistema garantiza el transporte de mercancías en grandes distancias con la disponibilidad continua de energía, permitiendo que los camiones funcionen sin limitaciones de autonomía, sin necesidad de llevar grandes pilas y sin tener que realizar paradas constantes para recargar las baterías. La alimentación por suelo se aplicará en vehículos híbridos, ya que al desconectarse el vehículo de la alimentación tendrá que circular por vialidades ordinarias, (Híbridos y Eléctricos, 2015).

#### **4.4.3 Recarga inductiva electromagnética**

Debido al avance de la tecnología en la industria automotriz, la movilidad eléctrica está ganando impulso poniendo en primer plano la infraestructura de carga. Hasta ahora, los puntos de carga para vehículos eléctricos han sido dispositivos enchufables que funcionan, pero que dependen directamente del nivel de carga. Aunque puede ser una red doméstica de nivel 1, el tiempo de recarga es tardado, de alrededor de 8 horas; por otro lado, el nivel 2 se considera como carga semi-rápida y tiene un tiempo estimado de 3 a 5 horas y, por otro, carga rápida de nivel 3 que permite cargar las baterías de un vehículo hasta un 80% en 30 minutos. Sin embargo, reducir el tiempo de carga depende de las características de voltaje y corriente, cuyo acondicionamiento requiere de resolver todavía serios temas técnicos. Aun así, comparado con los tiempos de recarga de combustible fósil, los tiempos de recarga todavía quedan limitados.

La recarga inductiva electromagnética es una opción en el futuro de la alimentación eléctrica, que consiste en la recarga inalámbrica que transfiere la electricidad mediante ondas, desde una bobina inductora situada en el pavimento hasta la bobina secundaria que ejerce de receptor y que va instalada en el vehículo. El único inconveniente técnico reside en su menor eficiencia, tema que actualmente se está investigando, además de orientar hacia un estándar común a todos los fabricantes.



Fuente: Imagen extraída del sitio web de electromovilidad. (Electromovilidad, 2020)

**Figura 4.11 Recarga inductiva electromagnética de vehículos eléctricos**

## 4.5 Acuerdos internacionales sobre la movilidad eléctrica en vehículos

Debido a los acuerdos y protocolos que tienen por objetivo mitigar la contaminación y el calentamiento global, algunas de las empresas de la industria automotriz han anunciado dejar de fabricar motores de combustión puramente de combustible fósil en los próximos años. Por ello, han adoptado la electrificación en sus motores como la alternativa de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, países desarrollados también han establecido criterios de prohibición aplicables a la circulación de vehículos de combustión interna.

En la tabla 4.3 se presentan las empresas de la industria automotriz que han establecido objetivos en la adopción de la tecnología eléctrica y su año de aplicación. En la tabla 4.4 se presentan los países que han establecido el objetivo de la introducción de vehículos híbridos y eléctricos en su mercado, e incluso la prohibición de venta de vehículos de combustión interna (CFE, 2017).

**Tabla 4.3 Compromiso de fabricantes para la venta o fabricación de vehículos eléctricos**

Empresa	Objetivo	Año
Volvo	Dejar de fabricar vehículos a gas, gasolina y diésel, solo ofrece vehículos híbridos y eléctricos	2019
BMW	Contar con 13 modelos eléctricos	2020
BAIC	Dejar de fabricar vehículos a gas, gasolina y diésel	2023
General Motors	Dejar de fabricar vehículos a gas, gasolina y diésel	2023
Daimler	Dejar de diseñar motores de combustión interna	2023
Volkswagen	Dejar de diseñar motores de combustión interna	2023
Toyota	Pretende contar con versiones electrificadas	2025
KIA	Contar con vehículos híbridos y eléctricos	2025

Fuente: Elaboración con información del documento Promoción de la electromovilidad sustentable de CFE, (CFE, 2017).

**Tabla 4.4 Compromiso de algunos países para la venta o fabricación de vehículos eléctricos**

País	Objetivo	Año
China	12% de las ventas de automóviles deberán ser vehículos eléctricos (equivale al 50% de las ventas de automóviles a nivel mundial)	2020
Países Bajos	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2025
Noruega	100% de las ventas de automóviles correspondan a vehículos híbridos y eléctricos	2025
Alemania	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2030
India	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2030
Israel	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2030
Taiwán	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2040
Francia	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2040
Reino Unido	Prohibir la venta de vehículos con motor de combustión interna	2040

Fuente: Elaboración con información del documento Promoción de la electromovilidad sustentable de CFE, (CFE, 2017).

Respecto a lo anterior, los fabricantes de la industria automotriz y los países han programado las fechas de los compromisos del protocolo de Kioto y Acuerdo de París, con el objetivo de reducir la contaminación del aire y el calentamiento global, provocado por las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos. Con ello, se espera que la flota de vehículos limpios crezca y sea una nueva etapa para la civilización para impulsar la movilidad eléctrica. La utilización de la energía eléctrica como fuente de propulsión en los vehículos ha tenido buenos resultados al disminuir el consumo de combustibles fósiles y las emisiones, siempre y cuando la producción de energía eléctrica provenga de generación limpia, como es el caso de la eólica, hidráulica, solar, marítima, entre otras. Por ello, se espera que, a partir de las fechas establecidas por fabricantes y países, dispongan de vehículos limpios en su parque vehicular.





## 5 Comentarios

---

La electromovilidad es una tendencia creciente en el mundo moderno y, dentro de ella, su aplicación en los vehículos ya está penetrando fuertemente en la sociedad a través de diversos mercados. La movilidad eléctrica enfrenta desafíos en torno a la pobreza urbana y la conveniencia de contribuir a combatirla, mediante el desarrollo de vehículos y sistemas de transporte público de calidad con bajo impacto ambiental. Automóviles, autobuses, bicicletas o camiones se están sumando a esta nueva tecnología, que supondrá incrementar diversas ventajas, tales como menor contaminación al aire, mitigación del cambio climático, disminución del ruido y mayor eficiencia energética.

Organizaciones gubernamentales sugieren un llamado a la actuación proactiva de los países para recibir la electromovilidad, de tal forma que pueda alinearse con los objetivos de transporte sostenible. Los gobiernos deberán avanzar en una agenda integral de política pública, regulación e incentivos apropiados que consideren los distintos componentes de la electromovilidad, ya que los sectores de transporte y energía son fundamentales para asegurar un funcionamiento óptimo de las tecnologías, tanto en el desarrollo de los vehículos y sus componentes asociados a la electromovilidad, como del despliegue de cargadores de acceso público en ciudades y redes carreteras. Con ello se busca su implementación con base en fuentes renovables y expandir la infraestructura para mejorar su aprovechamiento.

Los vehículos eléctricos son una opción para la mitigación de contaminación del aire y el control del cambio climático; sin embargo, la principal causa de su limitada adopción es su alto precio, debido al valor de las baterías, aunque el desarrollo tecnológico automotriz tiene como objetivo disminuir sus costos. Esto, atendiendo también la aún escasa infraestructura de recarga. Las gasolineras superan por un gran número a las electrolineras y, además, todavía hay una gran diferencia en los tiempos de recarga. Esto, también bajo la consideración de ideas y estudios con resultados opuestos, que la realidad de la movilidad en sí misma irá acotando y redirigiendo.

Es importante que la tendencia de la movilidad eléctrica sea dirigida al transporte público y masivo, ya que el transporte es el sector que produce un alto índice de GEI. Si la movilidad de las personas es a través de vehículos cero emisiones o con tecnologías híbridas, se beneficiará al reducir el congestionamiento vehicular en las grandes ciudades, como la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.

Respecto a la carga de baterías, un aspecto sumamente importante sobre el establecimiento de las electrolineras, es la probable afectación a la red de distribución si se incrementa la conexión simultánea de vehículos para recarga.

Políticas, lineamientos y planes deben ser congruentes con el desarrollo de la disponibilidad y adecuación de esta nueva necesidad en México.

La adopción del uso y adquisición de vehículos con tecnologías eléctricas requiere también de estrategias de motivación y facilitación hacia los consumidores. Aunque existen esquemas de estímulo fiscal, estos podrían ser ampliados con otros apoyos, como es el caso de créditos automotrices especiales, políticas de canje que faciliten la adquisición, o reembolso periódico por disminución de emisiones respecto al uso, entre otras posibles.

## Referencias

---

- ANPACT. (2019). Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones. *Anuario de Camiones Pesados*, 140-141.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (26 de diciembre de 2018). *Leyes fiscales*. Obtenido de Ley Federal del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/123\\_261218.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/123_261218.pdf)
- CFE. (2017). *Comisión Federal de Electricidad*. Obtenido de Promoción de la electromovilidad sustentable.
- Charge Now. (12 de 04 de 2019). *Beneficios para los vehículos eléctricos en México*. Obtenido de <http://www.chargenow.mx/incentivos-para-vehiculos-electricos-en-mexico/>
- CONUEE. (26 de Agosto de 2015). *Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía*. Obtenido de Movilidad y transporte: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/biodiesel-movilidad-y-transporte?state=published>
- Denton, T. (2016). *Sistemas eléctrico y electrónico del automóvil*. Ciudad de México. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Electromovilidad. (01 de 2020). *Movilidad eléctrica y transporte sostenible*. Obtenido de Conectores para la recarga del vehículo eléctrico: <http://electromovilidad.net/>
- Forbes México. (17 de febrero de 2020). *Forbes México*. Obtenido de Bimbo añade 100 vehículos eléctricos y 41 híbridos a su flota verde: <https://www.forbes.com.mx/bimbo-anade-100-vehiculos-electricos-y-41-hibridos-a-su-flotilla-verde/>
- Híbridos y Eléctricos. (junio de 2015). *Alstom y Volvo desarrollan un sistema de carreteras eléctricas*. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/alstom-y-volvo-desarrollan-sistema-carreteras-electricas/20150611193957009607.html>
- HINO. (2018). *Hino Motor Sales México S.A. de C.V.* Obtenido de Serie 300 Híbrido: <https://hino.com.mx/productos/serie-300-hibrido.html>
- IEA. (Mayo de 2019). *International Energy Agency*. Obtenido de Global EV Outlook 2019: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

- INECC. (26 de Marzo de 2018). *Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero*. Recuperado el Agosto de 2018, de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN\\_26\\_marzo\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN_26_marzo_2018.pdf)
- INEGI. (abril de 2019). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Transporte urbano de pasajeros: <https://inegi.org.mx/>
- INEGI. (2019). *Parque vehicular*. Recuperado el Septiembre de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadísticas de Vehículos de Motor Registrados.: <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
- INEGI. (enero de 2020). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros. Venta de vehículos híbridos y eléctricos: [https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/default.html#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/default.html#Datos_abiertos)
- INEGI, Parque vehicular. (11 de octubre de 2019). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Parque vehicular: [https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/default.html#Informacion\\_general](https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/default.html#Informacion_general)
- International Energy Agency. (03 de 2018). *CO2 Emissions from fuel combustion highlights*. Obtenido de [http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/CO2\\_Emissions\\_from\\_Fuel\\_Combustion\\_2018\\_Highlights.pdf](http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/CO2_Emissions_from_Fuel_Combustion_2018_Highlights.pdf)
- Metrorrey. (2019). *Sistema de Transporte Colectivo Metrorrey* . Obtenido de <https://beta.nl.gob.mx/>
- SEMARNAT. (2018). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030*. Ciudad de México: Gobierno de la República.
- Servicio de Transportes Eléctricos. (abril de 2019). *Red de servicio*. Obtenido de <https://www.ste.cdmx.gob.mx/red-de-servicio>
- SHCP. (2017). *Secretaría de Hacienda y Crédito Público*. Obtenido de Paquete Económico para el Ejercicio Fiscal: [https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF2017/paquete/politica\\_hacendaria/CGPE\\_2017.pdf](https://www.ppef.hacienda.gob.mx/work/models/PPEF2017/paquete/politica_hacendaria/CGPE_2017.pdf)
- Siemens. (2017). *eHighway – Electrification of road freight transport*. Obtenido de <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:7bcd4aee10a34603eea30c4e8b8941478c164092/version:1500537078/ehighway-2017.pdf>

- Siemens. (2018). *Siemens builds eHighway in Germany*. Obtenido de <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-builds-ehighway-germany>
- Sistema de Transporte Colectivo. (abril de 2019). *Operación*. Obtenido de Parque vehicular: <http://data.metro.cdmx.gob.mx>
- Sistema de Transportes Teleférico. (abril de 2019). *Mexicable*. Obtenido de <http://www.mexicable.com/>
- SITEUR. (2020). *sistema de Tren Eléctrico Urbano*. Obtenido de Tren ligero: <http://www.siteur.gob.mx/>
- STC. (Diciembre de 2019). *Sistema de Transporte Colectivo*. Obtenido de Parque vehicular: <https://www.metro.cdmx.gob.mx/parque-vehicular>
- U.S. Department of energy. (Agosto de 2015). *Clean Cities Coalition Network*. Obtenido de Vehículos eléctricos: [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev\\_spanish.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev_spanish.pdf)
- VOLVO. (26 de septiembre de 2011). *Buses México*. Obtenido de Volvo 7700 Híbrido para la línea 4 del metrobús: <https://www.volvobuses.mx/es-mx/news/2011/sep/news-109386.html>
- VOLVO. (abril de 2019). *Buses México*. Obtenido de Volvo Híbrido 7900: <https://www.volvobuses.mx/es-mx/our-offering/buses/volvo-b215r.html#>
- Wikipedia. (enero de 2020). *Global electric Motocars*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Global\\_Electric\\_Motorcars](https://es.wikipedia.org/wiki/Global_Electric_Motorcars)



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”  
Parque Tecnológico San Fandila  
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México  
CP 76703  
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610  
Fax +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>