



# **Intercambio de baterías: elemento clave para una electromovilidad sustentable**

**J. Tomás Sánchez Silva,  
Natalia Correa Solis,  
E. Sebastián Godinez Torres,  
Karla G. Cedano Villavicencio  
y J. Antonio del Río Portilla**



**IER**


Instituto de Energías  
Renovables

# Intercambio de baterías: elemento clave para una electromovilidad sustentable

Universidad Nacional Autónoma de México  
Instituto de Energías Renovables

© 2023 D.R. Universidad Nacional Autónoma de México

Todos los derechos reservados. Hecho en México.

Se autoriza la distribución bajo licencia creative commons:  
atribución, no comercial y compartir igual .

 2023 José Tomás Sánchez Silva, Natalia Correa Solis, Eduardo Sebastián Godínez Torres, Karla Graciela Cedano Villavicencio y Jesús Antonio del Río Portilla.

Diseño de Portada

Jesús Antonio del Río Portilla usando Canva <http://canva.com>

Las figuras que ilustran las primeras páginas de los capítulos fueron generadas utilizando inteligencia artificial de dos sitios: <https://huggingface.co/spaces/stabilityai/stable-diffusion> y <https://labs.openai.com/>. Todas las demás figuras son de creación propia o se cita la fuente con derechos para compartir.

ISBN 978-607-30-9160-2.

DOI pendiente

Publicado en formato digital en Temixco, Morelos, México, Diciembre 2023.



# Intercambio de baterías: elemento clave para una electromovilidad sustentable

José Tomás Sánchez Silva,  
Natalia Correa Solis,  
Eduardo Sebastián Godinez Torres,  
Karla Graciela Cedano Villavicencio y  
Jesús Antonio del Río Portilla

2023



# Índice general

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Tendencias en electromovilidad</b>	<b>5</b>
1.1. Tipos de vehículos eléctricos . . . . .	5
1.1.1. Vehículos de dos y tres ruedas . . . . .	6
1.1.2. Vehículos de cuatro ruedas . . . . .	6
1.1.3. Vehículos eléctricos ligeros . . . . .	6
1.1.4. Autobuses . . . . .	6
1.2. Costo de compra . . . . .	7
1.2.1. Limitado rango y tiempo de carga . . . . .	7
1.2.2. Infraestructura insuficiente . . . . .	7
1.2.3. Autonomía . . . . .	9
1.3. Tendencia en la infraestructura de carga . . . . .	9
1.4. Demanda de energía eléctrica . . . . .	10
1.5. Tendencia en el mercado de baterías . . . . .	11
1.5.1. Reutilización de baterías . . . . .	14
<b>2. Infraestructura de carga</b>	<b>15</b>
2.1. Tipos de electrolinerías . . . . .	16
2.2. Conectores de los vehículos . . . . .	19
2.3. Carga de vehículos eléctricos . . . . .	21
2.4. Carga inductiva . . . . .	23
2.5. Intercambio de baterías . . . . .	23
<b>3. Políticas de incentivos y regulaciones hacia la electromovilidad</b>	<b>25</b>
3.1. Incentivos de compra . . . . .	26
3.2. Incentivos no financieros . . . . .	27
3.3. Desincentivar los vehículos de combustión interna . . . . .	28
3.4. Normatividad . . . . .	29
3.4.1. Manejo de baterías . . . . .	29
3.5. Posibles acciones para el entorno mexicano . . . . .	30

3.5.1.	Acciones en el ámbito de las baterías . . . . .	30
3.5.2.	Red eléctrica . . . . .	31
3.5.3.	Incentivos en México . . . . .	32
<b>4.</b>	<b>Estaciones de intercambio</b>	<b>35</b>
4.1.	Beneficios del intercambio de baterías . . . . .	36
<b>5.</b>	<b>Ejemplos de negocios en electromovilidad</b>	<b>43</b>
5.1.	Francia . . . . .	43
5.2.	Corea del Sur . . . . .	44
5.3.	Brasil . . . . .	45
5.4.	Colombia . . . . .	45
5.5.	Perú . . . . .	46
5.6.	México . . . . .	47
5.7.	Chile . . . . .	47
<b>6.</b>	<b>Proyectos pilotos de electromovilidad por intercambio de baterías</b>	<b>49</b>
6.1.	Estaciones de intercambio de baterías y su relación con los vehículos eléctricos . . . . .	50
6.1.1.	Problemáticas del sector de transporte actual . . . . .	51
6.1.2.	Limitaciones de las estaciones de recarga convencionales . . . . .	51
6.1.3.	¿Por qué necesitamos tecnología de intercambio de baterías? . . . . .	53
6.2.	Funcionamiento de las estaciones de intercambio de baterías . . . . .	55
6.2.1.	Tipos de BSS implementadas actualmente . . . . .	55
6.3.	El intercambio de baterías como modelo de negocio . . . . .	58
6.3.1.	Necesidades para la entrada de un modelo BaaS . . . . .	59
6.3.2.	Retos de las estructuras de intercambio de baterías y BaaS y cómo China los enfrentó . . . . .	60
6.3.3.	Integración de autobuses con batería eléctrica intercambiable, casos de estudio	61
6.3.4.	Beneficios económicos . . . . .	65
6.3.5.	Indicadores para la evaluación económica de los modelos BCSS para autobuses	68
6.3.6.	Modelos de operación de empresas de éxito, panorama internacional del modelo BaaS . . . . .	69
6.4.	Elementos relevantes para la selección proyectos pilotos . . . . .	73
6.4.1.	Planificación de operaciones de una estación de autobuses eléctricos de baterías intercambiables . . . . .	73
6.4.2.	Modelos de rentabilidad de las BSS y BaaS, ecosistema de negocios . . . . .	76
6.4.3.	Promoción de la tecnología e impacto social . . . . .	77
6.5.	Panorama nacional: Sitios de interés para la electromovilidad . . . . .	78
6.5.1.	Impacto social y ambiental de la electromovilidad en México . . . . .	83
6.5.2.	Procesos clave de la planeación de un proyecto de electromovilidad en México .	86
6.5.3.	Propuestas para la apropiación social de la tecnología en México . . . . .	90

---

Conclusiones	91
Recomendaciones para políticas	93
Lista de siglas	99
Bibliografía	104





# Introducción



En la actualidad, más que otro momento en la historia de la humanidad, estamos experimentando los estragos del calentamiento global antropogénico y cambio climático. Desde hace décadas, mediante distintas organizaciones alrededor del mundo, se han propuesto iniciativas para que los países tomen acciones que nos permitan afrontar estos problemas mediante la transición energética, mejorando la resiliencia y adaptación al cambio climático y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

El acuerdo adoptado durante la COP21<sup>1</sup> de París y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), son algunos de los más relevantes.

El transporte<sup>2</sup>, según datos del Banco mundial, representa el 24 % de las emisiones de dióxido de carbono por la combustión de combustibles fósiles a nivel global. En México el panorama no mejora, pues representan el 33 % de las emisiones generadas en el país. Así, la electromovilidad se vuelve uno de los cambios tecnológicos clave en la lucha contra el cambio climático que consecuentemente nos permitirá tener un transporte sustentable.

---

<sup>1</sup>En este trabajo se usan acrónimos o siglas en inglés para facilitar las búsquedas internacionales en ese idioma, en el entendido que las búsquedas en español se hacen sobre el texto. El texto está disponible en la Internet en acceso abierto. Al final se presenta una lista de siglas para su identificación.

<sup>2</sup>Banco Mundial 2020.

El transitar hacia el uso de vehículos eléctricos para alcanzar la electromovilidad y cumplir con los acuerdos, metas y objetivos que nos hemos planteado en la Agenda 2030, implica más que solo cambiar de un modelo de autobús a otro. Al reducir solamente las emisiones locales parecería un cambio tendencial sin efecto en otras dimensiones de la sustentabilidad. El sector de transporte desempeña un papel crítico en las economías contemporáneas, pues está relacionado con sectores como: energía, infraestructura, comercio, servicios, industria y agricultura. Por lo que la solución tendrá que ser sistémica; para ello es necesario actualizar las flotillas, la infraestructura eléctrica, civil, las políticas en el transporte, cargas fiscales y promover el compromiso social hacia la transición a energías renovables.

El panorama va a cambiar, el norte global deberá descarbonizar su sector del transporte hasta en un 80 % para 2050, mientras que los países en desarrollo y emergentes deberán frenar el crecimiento hasta en un 170 % para 2050<sup>3</sup>. Los vehículos eléctricos de todo tipo: batería BEV, híbridos enchufables PHEV, híbridos HEV y de movilidad personal asistidos por energía eléctrica e-PMV, son alternativas clave a los vehículos con motor de combustión interna ICV, mejoran la eficiencia energética, mitigan la contaminación del aire y pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono. Desafortunadamente su adopción se ve obstaculizada por algunas barreras: el precio de compra es más elevado, la autonomía es más limitada, los tiempos de carga son más prolongados y existe menor infraestructura pública para su uso, que junto con la existencia de incentivos económicos y no económicos son factores que afectan la decisión de las personas compradoras potenciales de vehículos eléctricos y determinan la fortaleza del mercado de vehículos eléctricos.

En este texto planteamos la tendencia que observamos en esta transición a la electromovilidad. En el capítulo 1 resumimos las tendencias que se observan hoy en día (mediados de 2023) abordando las limitaciones como: los altos costos, el limitado rango de autonomía y la insuficiente infraestructura. Abordamos las características y tendencias de los diferentes vehículos eléctricos tanto de 2 o 3 ruedas como vehículos ligeros o autobuses. Resumimos las tendencias en la infraestructura de carga y su impacto en la demanda de energía eléctrica. Así como específicamente la tendencia en el mercado de las baterías y su posible reutilización.

En el capítulo 2 abundamos en las necesidades de la infraestructura de carga: especificamos los tipos de electrolinerías que se han definido en nuestro país, siguiendo las pautas internacionales. Comentamos sobre los diferentes tipos de conectores y la necesidad de estandarizarlos. Detallamos los aspectos de carga de los vehículos eléctricos y enfatizamos la posibilidad de implementar el intercambio de baterías como una estrategia con menores impactos ambientales.

Ejemplos de políticas e incentivos y regulaciones para transitar hacia la electromovilidad son discutidos en el capítulo 3. Abordamos los incentivos en la compra, así como algunos incentivos no financieros y las políticas para desincentivar los vehículos de combustión interna. Damos especial atención a la normatividad en el manejo de las baterías y comentamos algunas acciones concretas que han sido propuestas en el entorno mexicano.

Desde nuestra perspectiva, la opción de intercambio de baterías ofrece ventajas económicas y ambientales para flotillas o transporte público. Por esta razón, detallamos los beneficios técnicos y ambientales en el capítulo 4.

A manera de ejemplos, mencionamos las estrategias de negocios en diferentes países de Europa, Asia y especialmente en América Latina en el capítulo 5.

Parte central de este texto es la contribución hacia la definición de metodologías para la evaluación de proyectos pilotos para la transición hacia la electromovilidad en el capítulo 6. Retomamos las nociones de intercambio de baterías, revisamos sus bondades y limitaciones contextualizadas en modelos de negocios para analizar sus beneficios económicos, sociales y ambientales. Describimos una guía para la selección, caracterización y evaluación de los proyectos pilotos de electromovilidad. Finalizamos con una propuesta para la apropiación social de esta tecnología en México.

---

<sup>3</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.

Queremos hacer patente nuestro agradecimiento a Cristian Santiago y Kjell Kühne de la asociación LINGO<sup>4</sup> por la motivación durante el proceso de concepción de la idea y el desarrollo del reporte. También reconocemos que sus comentarios, preguntas y actitud crítica contribuyeron a que este texto ampliara su visión y profundidad para concebir estrategias que posibilitan un México postpetróleo. Queremos enfatizar que quienes escribimos también compartimos con LINGO el concepto de que el petróleo es muy importante; tan importante que debemos cuidarlo y no quemarlo.

Empecemos con una visión rápida de las tendencias que observamos en la electromovilidad.

---

<sup>4</sup>LINGO, Leave it in the Ground Initiative <https://www.leave-it-in-the-ground.org/>



# Capítulo 1

## Tendencias en electromovilidad



En este capítulo describiremos las tendencias actuales que se perciben en el mundo para la transición hacia la electromovilidad.

Abordaremos diversos temas desde el costo de los vehículos, observando que la inclusión de es la diferencia fundamental con los de combustión interna. Una limitación de los vehículos eléctricos es su limitado rango de autonomía.

### 1.1. Tipos de vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos pueden clasificarse por la tecnología que usan, por su tamaño o capacidad de carga. La cuota de vehículos eléctricos comerciales ligeros apenas supera el 12 % (una tasa muy

baja)<sup>1</sup>, tasa que muestra que la aceptación de los vehículos eléctricos comerciales ligeros está siendo lenta en la mayoría de los mercados. Este hecho se puede atribuir a una combinación de factores, donde las necesidades del mercado destacan. Los vehículos eléctricos de dos y tres ruedas tienen atractivos dividendos, particularmente en el mercado Asiático, por su uso cotidiano en el transporte público, debido a su saturada infraestructura vial.

### 1.1.1. Vehículos de dos y tres ruedas

Su electrificación es relativamente sencilla, por su ligereza y distancias cortas de recorrido, requiere baterías pequeñas, lo que también plantea menos problemas relacionados con los requisitos de infraestructura de carga. Sobre la base del costo total de adquisición, su electrificación ya tiene sentido económico en muchas regiones, y la simplicidad de su fabricación hacen que sean más baratos de comprar que su contraparte, el ICV. Como China, quien domina el mercado<sup>2</sup>, que en el 2021 alcanzó 9.5 millones de nuevas matriculaciones de vehículos eléctricos de dos o tres de un total global de poco más de 10 millones. En México se estima que el 0.5 % del total vehículos de transporte es eléctrico<sup>3</sup>.

Los vehículos de dos y tres ruedas son frecuentemente excluidos de las estadísticas, aun en los escenarios mencionados, a pesar de eso, este tipo de vehículos son el segmento de transporte por carretera más electrificado en la actualidad.

### 1.1.2. Vehículos de cuatro ruedas

El automóvil ha sido concebido como el ejemplo de la individualidad y la versión eléctrica también tiene esta etiqueta. Desde hace unos años, la variedad de modelos de automóviles eléctricos ha crecido imitando la diversidad que los de ICV tienen en el mercado actual. En esta diversidad encontramos desde la austeras versiones eléctricas de dos plazas hasta los vehículos masivos de uso rudo como las camionetas o las versiones “familiares” como las SUV.

En este trabajo consideramos importante enfocarnos hacia vehículos de transporte público y disminuimos la atención hacia vehículos dedicados más al transporte individual.

### 1.1.3. Vehículos eléctricos ligeros

A pesar de tener una fase inicial lenta, las ventas de vehículos eléctricos comerciales ligeros (LCV) en todo el mundo aumentaron más del 70 % en 2021. Los pequeñas batería necesarias para ofrecer el rango adecuado para un viaje diario al trabajo y la simplicidad de su fabricación hacen que sean más baratos que su contraparte ICV.

### 1.1.4. Autobuses

Por otro lado, los autobuses de cero emisiones siguen ganando mayor participación en el mercado. Las ventas de autobuses eléctricos aumentaron un 40 % con respecto a 2020<sup>4</sup>. En 2021, el *stock* mundial de autobuses eléctricos era de 670 000, esto representa alrededor del 4 % de la flota mundial de autobuses. Aunque es China quien domina el mercado de autobuses eléctricos, el aumento en las

---

<sup>1</sup>International Energy Agency 2022b.

<sup>2</sup>Ibíd.

<sup>3</sup>Energy World 2023.

<sup>4</sup>International Energy Agency 2022b.

ventas de autobuses eléctricos en países como Francia, Alemania, España y el Reino Unido se puede atribuir de la transición nacional a la contratación pública de solo autobuses con cero emisiones. En América Latina, según datos de MOVE LATAM<sup>5</sup>, consultados en la plataforma electrónica *e – bus radar*, existe un total de 4,133 autobuses eléctricos, de los cuales 606 se encuentran en México, en su mayoría en la Ciudad de México (543 autobuses) y en la ciudad de Guadalajara (63 autobuses).

Debido a su ciclo de trabajo, la estrategia de carga para estos vehículos considerados pesados es mediante la carga a velocidades bajas, manteniendo los costos bajos. En caso de incrementar el ritmo de trabajo, se necesitará una carga muy rápida para brindar flexibilidad y autonomía a los camiones eléctricos regionales y de larga distancia. En el caso comercial, una infraestructura de carga muy rápida sería de 350kW o incluso más de 1 MW, que se traduce en altos costos de construcción e integración a la red.

## 1.2. Costo de compra

El gasto mundial de de particulares y gobiernos en automóviles eléctricos continúa aumentando, en 2021 por parte de particulares alcanzó casi los 250,000 millones de dólares, el gasto público mediante subsidios de compra y exenciones de impuestos, también se duplicó a casi 30,000 millones de dólares.

El precio promedio ponderado de ventas globales de los BEV en 2021 fue de poco más de 36,000 USD (un 7% menos que en 2020) y para losPHEV de 51,000 USD (manteniéndose estable). Aunque si excluimos a China, el precio de los BEV sería apenas menor a 50,000 USD en 2021 (un 3% más que en 2020) y más de 57,000 USD para los PHEV (un 4% más que en 2020), es decir los precios en China son menores<sup>6</sup>. Algunos estudios<sup>7</sup> identifican un promedio de 11 mil dólares por encima del costo de los ICV; este costo se ha convertido en el mayor obstáculo en la adopción de EV.

El elemento determinante del alto precio es el costo de las baterías. Las baterías de litio son consideradas la tecnología dominante; sin embargo es importante mencionar que el costo de manufactura está disminuyendo, esta información la desglosamos más adelante.

### 1.2.1. Limitado rango y tiempo de carga

La autonomía limitada y los tiempos de recarga prolongados son dos preocupaciones, que podrían causar ansiedad en las personas usuarias. Por supuesto la tendencia está en mejorar la capacidad de las baterías, pero la interdependencia entre el tiempo de carga y la capacidad de la batería es un dilema; una mayor capacidad de batería requiere menor frecuencia entre las cargas, pero mayor tiempo al hacerlo, y viceversa. Aunque hay un amplio rango de la población que por el uso que le dan a los vehículos no tiene por qué representar un problema.

### 1.2.2. Infraestructura insuficiente

La falta de una infraestructura eléctrica suficiente en términos de cargadores, estaciones de carga, potencia necesaria y regulación en venta de energía para los EV es una de las principales limitaciones para su adopción masiva. Adicionalmente la política energética y fiscal, refiriéndose a la regulación de combustibles o de estos vehículos, desde su importación, venta, matriculación, pago de impuestos, suelen ser barreras importantes para la masificación de los EV.

---

<sup>5</sup>Move Latam 2022.

<sup>6</sup>International Energy Agency 2022b.

<sup>7</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.



País	EV Vendidos	% de Ventas del total
Noruega	150 mil	80
Suecia	125 mil	48
Países Bajos	95 mil	30
Alemania	500 mil	27
Francia	400 mil	20
Reino Unido	400 mil	20

Tabla 1.1: Países europeos con mayor impacto en el parque vehicular por ventas de autos eléctricos en 2021.

¿Cuál es la tendencia de los vehículos eléctricos? A pesar de las barreras, los vehículos convencionales por supuesto que se siguen vendiendo, pero las ventas van cayendo y continuarán haciéndolo. Podemos mencionar<sup>8</sup> que las ventas globales de autos eléctricos aumentaron un 60% entre 2021 y 2022 vendiendo 6.6 millones y 10 millones de unidades, respectivamente; el número de coches eléctricos en las carreteras del mundo a finales de 2021 era de unos 16.5 millones. A la par, la cantidad de modelos disponibles en el mercado mundial ascendió a 400 en 2022. En América Latina y el Caribe, hay disponibles 75 modelos.

Los mercados<sup>9</sup> más representativos para los EV son China, Estados Unidos y Europa. En este último mercado los países que mayor parque vehicular eléctrico por ventas tiene son Noruega, Suecia, Países Bajos, Alemania, Francia y Reino Unido, en ese orden, para detalle ver 1.1.

Existen escenarios que aunque su propósito no es hacer predicciones, nos permite evaluar futuros para los mercados globales de vehículos eléctricos. En particular algunos escenarios son<sup>10</sup>: el Escenario de Políticas Declaradas (EPD) que refleja las políticas y medidas existentes, así como las ambiciones políticas y los objetivos que han sido legislados por los gobiernos; el Escenario de Promesas Anunciadas (EPA) asume que las ambiciones y los objetivos anunciados por los gobiernos de todo el mundo y el Escenario de Emisiones *Net Zero* (EENZ) para 2050 es un escenario normativo que establece un camino estrecho pero alcanzable para que el sector energético global logre cero emisiones netas de CO<sub>2</sub> para 2050 y es compatible con limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C.

En el Escenario de Políticas Declaradas, el inventario mundial de vehículos eléctricos en todos los modos de transporte por carretera se expande rápidamente de casi 18 millones en 2021 a 200 millones de vehículos para 2030.

El Escenario de Promesas Anunciadas, pronostica que el parque de vehículos eléctricos alcance los 270 millones de unidades en 2030.

En el escenario *Net Zero*, el inventario de vehículos eléctricos alcanzará más de 100 millones de vehículos en 2025 y 350 millones de vehículos en 2030.

La tabla 1.2 contiene la información del parque vehicular eléctrico pronosticado para cada escenario.

<sup>8</sup>International Energy Agency 2023.

<sup>9</sup>International Energy Agency 2022b.

<sup>10</sup>Ibíd.

Escenario	Parque Vehicular Eléctrico	Año
EPD	200 millones	2030
EPA	270 millones	2030
EENZ	350 millones	2030

Tabla 1.2: Parque vehicular eléctrico para el año 2030 por escenario<sup>11</sup>.

### 1.2.3. Autonomía

La evolución del rango promedio de autonomía de los vehículos eléctricos, es un parámetro que refleja la mejora continua de las tecnologías involucradas, principalmente la batería. En 2010 la autonomía se encontraba alrededor de los 120 km por carga completa y en 2021 en los 350 km<sup>12</sup>. Intersectando las tendencias de una mayor autonomía y menor costo de baterías (proporcional al costo de adquisición) tenemos tecnología de transición que por sí sola (sin involucrar infraestructura) se vuelve competitiva con los autos convencionales.

## 1.3. Tendencia en la infraestructura de carga

En general, la infraestructura de carga se está expandiendo significativamente. Los puntos de carga públicos disponibles aumentaron<sup>13</sup> casi un 40 % en 2021, aproximándose a 1.8 millones de puntos de carga, de los cuales 600 mil son de carga rápida. Aun cuando hoy en día, la mayor parte de la carga de vehículos eléctricos se realiza en residencias y lugares de trabajo, existe una infraestructura que crece y pretende ser suficiente.

El ritmo actual en ventas de vehículos eléctricos sólo puede mantenerse si se proporciona a la población cada vez mayor acceso a una infraestructura de carga conveniente y asequible. La carga residencial es una oportunidad de negocio para servicios públicos, y los operadores de estaciones de carga obtendrán ingresos de la carga pública. Actualmente se requieren inversiones para desarrollar redes de carga adecuadas. Es por eso que los gobiernos deberán continuar facilitando la inversión y minimizando las barreras para el despliegue de la infraestructura de carga.

Existen recomendaciones para la implementación de esta infraestructura pública. En particular, la Directiva de Infraestructura de Combustibles Alternativos (AFID, en inglés)<sup>14</sup> recomienda regular el despliegue de equipos de suministro de vehículos eléctricos públicos; la política recomienda alcanzar 10 LCV por cargador público para 2020. El número de vehículos eléctricos de carga (EVSE) en uso y las redes de carga se desarrollan a diferente velocidad, el número de vehículos por cargador depende de varios factores, que incluyen: cantidad de viviendas, distancia promedio recorrida y densidad de población. Si en 2021 la disponibilidad de vehículos eléctricos era de 16.5 millones y de cargadores 1.8 millones, existía un factor prácticamente de 1 a 10 (promedio a nivel global). Esto refleja que el despliegue de la infraestructura de carga aparentemente está respondiendo a la cantidad de vehículos eléctricos existentes. Esta proporción de EVSE por equipo de carga varía según la región, por ejemplo ver 1.3. También recomienda exigir al menos 1kW de cargador disponible públicamente por BEV y 0.66 kW por PHEV, así como la cobertura mínima de cargador público en carreteras.

Si bien muchos países han asignado fondos para apoyar el despliegue de EVSE, las estrategias

<sup>12</sup>Ibíd.

<sup>13</sup>Ibíd.

<sup>14</sup>Ibíd.

difieren según la región. En la Unión Europea AFID<sup>15</sup> proponen obligaciones para los cargadores públicos con base en la potencia mínima por EV (1 kW por cada BEV y 0.66 kW por cada PHEV).

País	Potencia de carga (kW)	Vehículos por punto de carga (EV)
Noruega	0.6	34
Estados Unidos	1	18
Europa	1.1	15
México	1.6	9
China	3.8	8
Países Bajos	2.7	5
Chile	5.2	5

Tabla 1.3: Potencia de carga (kW) por EV y Número de vehículos por punto de carga por país o región.

En la tabla 1.3 se observa que las recomendaciones de la potencia de carga para los puntos de carga varía entre países. Lo más notable es que en Noruega la disponibilidad de los puntos de carga está por debajo de lo recomendado por la AFID<sup>16</sup>. Esto sorprende ya que los vehículos eléctricos pueden experimentar cierta pérdida de autonomía en climas fríos; y en Noruega, donde la mitad de todos los automóviles nuevos son enchufables, las pruebas muestran que los vehículos eléctricos pierden alrededor del 20 % de su autonomía y tardan más en cargarse en temperaturas frías. Las bajas temperaturas que se presentan en Noruega someten a las baterías a condiciones con las que no se probaron en otras latitudes, disminuyendo su desempeño. Sin embargo, estos hechos no han frenado la transición hacia la electromovilidad<sup>17</sup>.

En la siguiente sección abordaremos el tema de la demanda de carga eléctrica por el creciente número de EVs.

## 1.4. Demanda de energía eléctrica

A medida que el uso de los EVs se popularice, la demanda de energía para su carga incrementará. Esto abrirá nuevas oportunidades de mercado para los servicios públicos y para compañías instaladoras y operadoras de estaciones de carga.

A la par que se desarrolla y mejora la tecnología lo hacen las baterías, que son el corazón de la electromovilidad. La capacidad promedio de las baterías para vehículos BEV fue de 55 kWh en 2010 y su demanda global se duplicó en 2021, ascendiendo a 340 GWh donde el 85 % corresponde a vehículos ligeros y el 10 % autobuses, el 55 % de esta demanda se encuentra dentro de China y apenas el 5 % en Latinoamérica<sup>18</sup>.

A la par que se desarrolla la tecnología, mejoran las características de las baterías tanto en aspectos técnicos como ambientales. La capacidad promedio de las baterías de los BEVs fue de 55 kWh en 2021, mientras que la capacidad promedio aumentó para los vehículos eléctricos híbridos enchufables llegando

<sup>15</sup>International Energy Agency 2022b.

<sup>16</sup>Ibíd.

<sup>17</sup>Muller y McGill 2022.

<sup>18</sup>International Energy Agency 2022b.

a 14 kWh en 2021. El hecho de que la capacidad de las baterías de los vehículos híbridos aumente indica que sus emisiones locales de gases de efecto invernadero (GEI) disminuyen conformando beneficios a los diferentes entornos. En el mundo, la capacidad total global que representan las baterías equivale a 340 GWh, donde 200 GWh corresponde únicamente al mercado chino. A su vez el 85 % de la capacidad total se encuentra en vehículos ligeros, mientras que apenas el 10 % en autobuses<sup>19</sup>. Esta capacidad de almacenamiento tiene aspectos positivos para las sociedades. Por ejemplo, puede ser elemento que aporte en la conformación de estrategias para atender situaciones de emergencia. Este tipo de estrategias están siendo exploradas, ya que antes no se tenía esa disponibilidad de almacenamiento de energía.

Con una mayor presencia de estos vehículos y su infraestructura, demandarán cantidades importantes de energía eléctrica. En 2021<sup>20</sup> la cantidad de energía eléctrica demandada por los vehículos eléctricos fue aproximadamente 55 TWh, para los casos presentados anteriormente la demanda más baja y más alta esperada para 2030 es de 800 TWh y 1500 TWh respectivamente. Los vehículos que más energía demandan, son los denominados ligeros, seguidos por los autobuses así como vehículos de carga y por último vehículos de dos y tres ruedas. Lamentablemente, no hemos encontrado información equivalente para México, por esta razón se han propuesto estrategias para conformar bancos de datos<sup>21</sup>.

A nivel mundial, bajo el escenario de políticas establecidas, la flota de vehículos eléctricos proyectada para el año 2030 reduciría la demanda de alrededor de 3.4 millones de barriles por día (mb/d) de diésel y gasolina, y alrededor de 4.6 mb/d en el escenario de compromisos anunciados, frente a los 0.3 mb/d en 2021<sup>22</sup>. Recordemos que aproximadamente por cada 2.2 barriles de crudo se puede refinar 1 barril de gasolina.

## 1.5. Tendencia en el mercado de baterías

El componente más importante de los vehículos eléctricos responsable de determinar su autonomía, también su costo, mantenimiento y tiempo de vida, es la batería. Existen dos tendencias dentro del mercado: baterías de alto contenido de níquel y baterías de fosfato de hierro-litio (LFP).

Como materia prima, el níquel comprende entre el 30 % y 75 % del cátodo de la batería, el litio alrededor del 10 %, el cobalto entre el 10 % y 30 % y el hierro hasta el 90 %, todo lo anterior según el modelo del que se trate. Algunos de estos modelos son NMC333 (bajo contenido de níquel), NCA y NMCA (alto contenido de níquel) y LFP (fosfato de litio-hierro). La química de los cátodos determina el rendimiento de la batería. El uso de materiales minerales en la composición de las baterías es un aspecto a vigilar, ya que la extracción de ellos puede tener aspectos nocivos para el ambiente. La vigilancia de las diferentes formas de extracción de estos materiales es un aspecto que debe ser considerado para construir una electromovilidad sustentable.

Los cátodos NCA y NMCA han dominado el mercado gracias a que ofrecen una alta densidad energética, su desventaja es que requieren de un proceso de producción más complejo. Así, el uso de las baterías LFP ha ido creciendo. Aunque tienen entre el 65 y 70 % de densidad energética en comparación con las NCA<sup>23</sup> y NMCA son más baratas. Además, las baterías LFP tienen una química más estable, con mayor ciclo de vida y menor riesgo de incendio. Por estas razones es que estas baterías se usan más en vehículos pesados y medianos, pues su ciclo de vida superior se adapta al uso intensivo y la carga frecuente.

---

<sup>19</sup>Ibíd.

<sup>20</sup>Ibíd.

<sup>21</sup>Este tema se discutirá en un próximo capítulo.

<sup>22</sup>Ibíd.

<sup>23</sup>NCA es usado exclusivamente por Tesla.

Recientemente los principales fabricantes no chinos de vehículos eléctricos anunciaron su cambio al uso de LFP para sus modelos básicos de EV y de alto volumen.

Un aumento en LFP plantea un desafío para el reciclaje de las baterías. LFP parece requerir reciclaje directo para ser rentable, además de requerir una intervención regulatoria, marcos y modelos comerciales alternativos (esto se comentará más adelante).

Ante el incremento en la demanda de baterías, el precio de los materiales requeridos también ha ido a la alza. En el transcurso de enero de 2021 a mayo de 2022 los precios de litio incrementaron más de siete veces y el cobalto al doble causados<sup>24</sup> por una combinación de la creciente demanda de baterías, el aumento de la presión sobre las cadenas de suministro y las preocupaciones sobre el ajuste de la oferta.

A pesar del aumento de los precios de las materias primas, los precios de las baterías están disminuyendo, la encuesta anual de precios de baterías de BNEF registró un precio promedio ponderado de ventas de 132 USD/kWh en 2021.

Partiendo de una búsqueda acerca del precio de las baterías de ion-litio, generamos una base de datos desde 2010 a 2023 de tres distintas fuentes IRENA (International Renewable Energy Agency)<sup>25</sup>, BNEF (BloombergNEF)<sup>26</sup> y WEF (World Economic Forum)<sup>27</sup>, siendo BNEF la más completa. Con base en nuestra experiencia, definimos un modelo que represente los datos y que nos permita conocer la tendencia, intentando predecir precios futuros para estas baterías.

Para el modelo se propuso la función:

$$y = B * e^{(-a*t)} + A, \quad (1.1)$$

donde los valores para  $A$ ,  $B$  y  $a$ , se determinan por el método de mínimos cuadrados. Notamos que el parámetro  $t$  corresponde a los años en los que pretendemos aplicar el modelo. El proceso de optimización de mínimos cuadrados iterará y nos entregará los valores optimizados de  $A$ ,  $B$  y  $a$  para todos los años ajustando la curva a los datos y permitiéndonos visualizar el precio en el futuro. El objetivo es hacer un ajuste óptimo con un modelo que tenga un precio mínimo y una caída exponencial como ha pasado en los últimos años. Los valores obtenidos son  $a = 0.24$ ,  $A = 50$  y  $B = 14482$ . El modelo ajusta muy bien los valores anteriores y nos da una tendencia de los precios en el futuro cercano. Se puede observar la calidad del ajuste en la figura 1.1. El estimador de bondad de ajuste que se calcula para evaluar el modelo es el Coeficiente de determinación que resultó en  $R^2 = 0.99$ , indicando que el ajuste es muy bueno. Este modelo empírico solamente es válido en el corto plazo, ya que la disponibilidad de materiales puede afectar la tendencia a la baja, entre otros factores.

De acuerdo con el modelo, tenemos las siguientes predicciones: el precio de la batería será de 106 USD/kWh para 2025, de 66 USD/kWh en 2030 y 59.9 USD/kWh en 2035. Como se puede observar, el modelo propuesto predice una tendencia a la baja en los precios de las baterías para los próximos años. Esto va a influir de manera directa en los precios promedio de los vehículos eléctricos y conociendo el precio de la batería podemos estimar los precios de los vehículos eléctricos en un futuro.

Para ello proponemos la expresión matemática

$$Pp_{EV} - Pp_{VCI} = F * P_B \quad (1.2)$$

En esta expresión  $Pp_{EV}$  es el precio promedio de un vehículo eléctrico,  $Pp_{VCI}$  es el precio promedio de un vehículo de combustión interna,  $P_B$  representa el costo de las baterías, y  $F$  es un factor que relaciona la diferencia de precios entre los vehículos con el costo de las baterías. Esta ecuación permite

<sup>24</sup>Las restricciones de suministro han sido impulsadas por tres tendencias: los desafíos de producción causados por la pandemia; las preocupaciones sobre el suministro de níquel desde Rusia y la falta de inversión estructural cuando los precios de los metales eran bajos.

<sup>25</sup>International Energy Agency 2023.

<sup>26</sup>BloombergNEF 2022.

<sup>27</sup>World Economic Forum 2022.

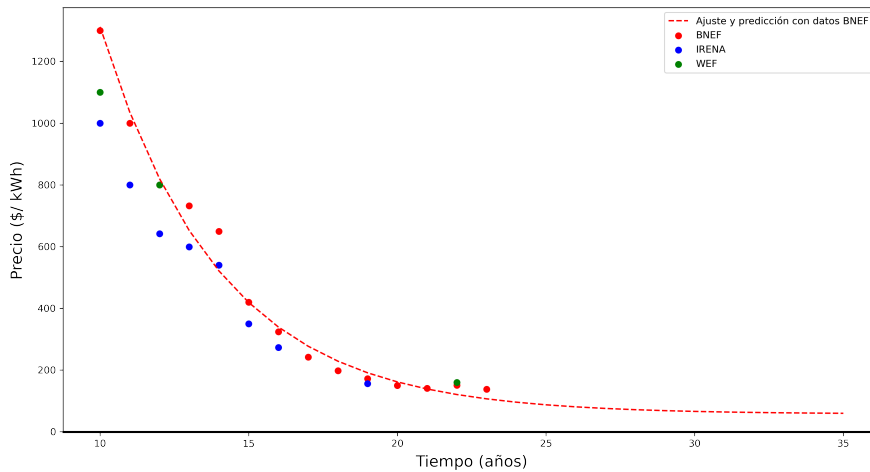


Figura 1.1: Comparación datos de precios de baterías con la curva obtenida con el modelo de la ecuación 1.1

estimar la diferencia de precios promedio entre los vehículos eléctricos y los vehículos de combustión interna. El modelo matemático propuesto indica que con el paso del tiempo el costo de las baterías disminuirá, esto implica que con el tiempo la brecha entre los precios de los vehículos de combustión interna y los vehículos eléctricos será menor. Recientemente, al considerar los vehículos utilizados en el trabajo elaborado Sánchez Silva et al.<sup>28</sup>, en el que se explora la viabilidad económica de un transporte público eléctrico, el costo promedio, en 2020, de una vagoneta de la marca Toyota, modelo Hiace (utilizada para brindar el servicio de transporte público a la población) era de \$21,800 USD mientras que su símil eléctrico tenía un costo promedio de \$45,000 USD, es decir, más del doble. De acuerdo a este estudio, el costo por kilometro recorrido con la vagoneta Toyota es de \$0.16 USD, mientras que con la vagoneta eléctrica el costo sería de \$0.02 USD, es decir, la movilidad eléctrica sería un 85% más barata que la movilidad actual. Además, debido a que los EVs no requieren de cambios de aceites ni de filtros, su tren de potencia tiene un diseño más simple y contienen menos partes móviles que los ICVs; los costos relacionados al mantenimiento son menores en un 20 a 30%<sup>29</sup>. Actualmente, esta brecha en los precios ha disminuido considerablemente, para el año 2023 el precio promedio de la misma vagoneta de combustión interna es de \$35,960 USD y el precio promedio de la vagoneta eléctrica es de \$38,400 USD, esto se debe en gran parte a la constante depreciación en los costos de las baterías.

Además, la demanda crítica de metales y sus precios están cada vez más ligada a las baterías. Los tres metales más importantes para las baterías de iones de litio son: el litio, el cobalto y el níquel. La demanda total de níquel fue de 2 640 kt en 2021, de la cual la proporción de la demanda relacionada con vehículos eléctricos fue del 7% en 2021. Los cátodos basados en níquel son dominantes en las baterías de vehículos eléctricos en la actualidad y se espera que sigan en el futuro debido a la demanda de vehículos eléctricos de mayor autonomía, especialmente en Europa y Estados Unidos.

La demanda de litio casi se ha duplicado desde 2017 a 80 kt en 2021; de las cuales, la demanda de baterías para vehículos eléctricos representa el 47%, frente al 36% en 2020 y solo el 20% en 2017.

<sup>28</sup>J. T. Sánchez, del Río y A. Sánchez 2022.

<sup>29</sup>Propfe et al. 2012.

La demanda de cobalto fue de 170 kt en 2021, de los cuales la proporción de baterías EV fue del 24 %, frente al 18 % en 2020.

Desde el ámbito tecnológico se está buscando tener mayores densidades de energía a menores costos. Por ejemplo, el cobalto es el componente más costoso por kg de metal de la batería de iones de litio y su uso en las baterías de iones de litio ha disminuido significativamente en los últimos años. A medida que los fabricantes de baterías sustituyeron los componentes de cobalto por productos químicos con mayor contenido de níquel, han conseguido densidades de energía más altas con costos más bajos.

Al final del día, los fabricantes de automóviles <sup>30</sup> integran el paquete de baterías en el EV, donde se conecta con el motor eléctrico, el módulo de carga a bordo, la caja de distribución de alto voltaje, la transmisión eléctrica y los sistemas térmicos.

La batería es un elemento esencial del EV que ha despertado especial atención sobre sus impactos ambientales durante su construcción, manejo y parte final de su vida útil. Como parte de los esfuerzos por minimizar estos impactos están las estrategias de reutilización de las baterías. En la siguiente sección, abordaremos este tema.

### 1.5.1. Reutilización de baterías

La reutilización de baterías de los EV implica su restauración para aplicaciones de segunda vida menos exigentes, generalmente en almacenamiento estacionario. Comúnmente, las baterías de vehículos eléctricos gastadas todavía tienen alrededor del 80 % de su capacidad utilizable; por lo tanto, la reutilización genera valor adicional a partir de estas baterías. La reutilización requiere el desmontaje del paquete, la prueba del módulo o las celdas y el reenvasado en nuevos paquetes para nuevas aplicaciones. Por supuesto, la consideración de estos aspectos desde el diseño de la batería y su posterior fabricación sería un elemento que minimice los costos. Otros de los principales impulsores en la disminución del costo de la restauración de baterías son la logística involucrada en su recolección, la prueba de la vida útil restante y el reempaque de celdas.

El reciclado de las baterías se realiza principalmente por tres métodos: pirometalurgia, hidrometalurgia y reciclado directo.

Los primeros dos de los métodos mencionados se basan en recuperar los metales caros, específicamente el níquel y el cobalto, y con frecuencia el cobre y el aluminio. El reciclaje directo es un proceso emergente que ofrece una eficiencia de reciclaje mejorada. En nuestro país, tenemos abierta casi en su totalidad la oportunidad de definir estrategias para el reciclado o reutilización de las baterías, es un aspecto que no se está atendiendo con la premura que merece.

La palabra clave que definirá la penetración de la electromovilidad en el futuro próximo es “infraestructura”; una infraestructura política (regulaciones) y fiscal (incentivos); pero no menos importante, una infraestructura eléctrica y de carga, en la cual profundizaremos más adelante.

---

<sup>30</sup> La fabricación de vehículos eléctricos se concentra actualmente en una pequeña cantidad de OEM (*original equipment manufacturer*) y las seis principales empresas son responsables del 52 % de la producción en 2021. Los tres mayores productores, Tesla (Estados Unidos), VW Group (Alemania) y BYD (China), representarán un tercio de la producción de vehículos eléctricos en 2021.

# Capítulo 2

## Infraestructura de carga



Los vehículos eléctricos, para poder moverse, requieren tener energía en sus baterías. Al suministro de energía eléctrica de un vehículo eléctrico se le conoce con el nombre de carga o recarga eléctrica. Este suministro de energía puede llevarse a cabo desde la propia red eléctrica doméstica o en estaciones propiamente adecuadas; es decir, con las características idóneas de corriente y voltaje que minimicen los tiempos de recarga, que se conocen con el nombre de electrolineras. En México, las electrolineras son estaciones de recarga para los autos eléctricos e híbridos-enchufables que pueden ser instaladas en hogares, espacios públicos o negocios y se alimentan de la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), por lo que son seguras y pueden usarse en todo momento. Un coche eléctrico disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> durante su funcionamiento en comparación con el ICV. Los vehículos enchufables requieren una electrolinera para abastecer la batería del auto. Estas varían en potencia, junto con el tiempo de recarga<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>CFE 2023a.



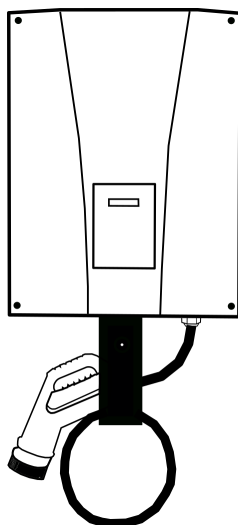


Figura 2.1: Centro de carga para entorno doméstico nivel I.

## 2.1. Tipos de electrolineras

De acuerdo a la CFE, existen diferentes tipos de electrolineras, las cuales se clasifican en diferentes niveles dependiendo del tiempo de carga y la potencia del cargador.

- Electrolinería nivel I : El tiempo de recarga de un vehículo eléctrico lleva entre 3.5 y 17 horas. El rango de la corriente es de 12 A a 16 A , el voltaje es de 120V y la potencia es de 1.3 kW a 1.9 kW. Su principal aplicación es en el sector doméstico y áreas de trabajo. Un esquema representativo de los centros de carga de nivel I se muestra en la figura 2.1
- Electrolinería nivel II: El suministro de energía para cargar un vehículo eléctrico toma entre 3.5 y 8 horas. La corriente eléctrica del cargador es hasta los 80 A, el voltaje puede ser de 208 V o 240 V y la potencia del cargador hasta 19 kW. Se pueden utilizar en áreas de trabajo y en espacios públicos.
- Electrolineras nivel III: Este tipo de cargadores también son conocidos como cargadores de carga rápida, dado que utilizan corrientes del orden de los 200 A y voltajes de los 208 V a 600V. Las potencias de este tipo de electrolineras van de los 50 kW a los 250 kW. Se pueden utilizar en lugares públicos como autopistas.

Así, la infraestructura de carga está compuesta por tres alternativas básicas para la recarga de los vehículos eléctricos; la carga lenta en corriente alterna (CA) monofásica durante tiempos prolongados en los que el vehículo no está en uso, la cual puede llevarse a cabo en el hogar o en lugares de trabajo mediante el cargador a bordo del vehículo (OBC por sus siglas en inglés *On Board Charger*), la carga trifásica en corriente alterna (CA) para niveles medios de potencia; y carga rápida en corriente continua (CC), donde la mayor parte de la conversión de energía tiene lugar fuera del vehículo. Las figuras 2.2 y 2.3 muestran una representación esquemática de los centros de carga nivel II y nivel III respectivamente.

En México, la CFE mediante el programa para la Promoción de la Electromovilidad por Medio de la Inversión en Infraestructura de Recarga (PEII) ha impulsado el desarrollo de infraestructura para los vehículos eléctricos enchufables. Este programa considera la implementación de 100 electrolineras

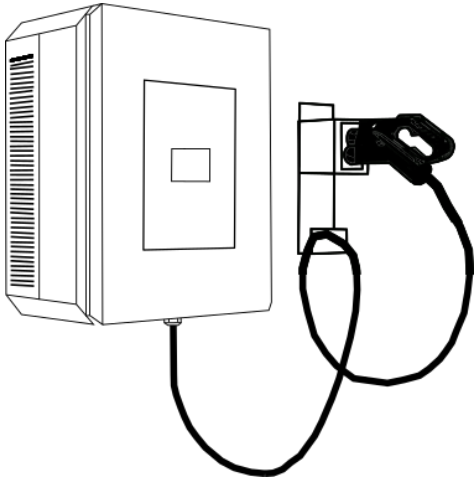


Figura 2.2: Centro de carga para nivel II.

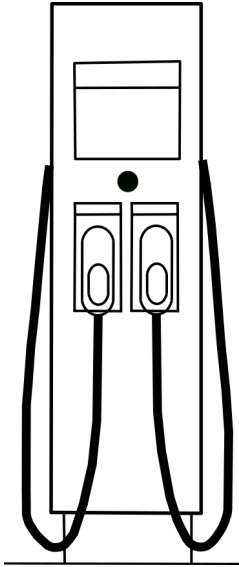


Figura 2.3: Centro de carga para nivel III.



Figura 2.4: Red troncal de electrolinerías propuesta para México.

públicas en las zonas metropolitanas de las tres principales ciudades del país, Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. Estas electrolinerías serán universales, es decir, pueden ser utilizadas por cualquier vehículo eléctrico que se encuentre en el mercado. Además, cabe mencionar, que las recargas de energía no tendrán costo alguno para el usuario final<sup>2</sup>, ya que el esquema considera que es un servicio que otorga el inmueble (por ejemplo, en el estacionamiento de una tienda o supermercado)<sup>3</sup>.

En México, la CFE tiene planeado, mediante el PEII, construir una red troncal de electrolinerías de carga rápida, la cual tendrá una extensión de 700km y conectará a 7 entidades (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Jalisco, Ciudad de México, Estado de México y Morelos). La figura 2.4 muestra la red troncal de electrolinerías que se tiene planeada desarrollar. Esta red troncal de electrolinerías pretende facilitar la adopción de los vehículos eléctricos en México<sup>4</sup>. Con este plan tan reducido, queda abierto el resto del país para establecer otros sistemas de carga de vehículos eléctricos. Puesto que únicamente se considera una parte de la región norte y centro occidente del país, este programa de la CFE deberá replicarse en las distintas regiones del país para facilitar la transición hacia la movilidad eléctrica y, por ende, incentivar la adquisición masiva de vehículos eléctricos en las zonas urbanas, que son las más pobladas y con mayores problemáticas ambientales relacionadas con la calidad del aire. Claramente, es y será necesario cubrir esta demanda de electrolinerías o de estaciones de intercambio.

<sup>2</sup>SEMARNAT 2018b.

<sup>3</sup>CFE 2018.

<sup>4</sup>CFE 2023b.



Figura 2.5: Conector para vehículo eléctrico tipo CHAdeMO.

## 2.2. Conectores de los vehículos

Los conectores eléctricos son los elementos que transmiten la energía eléctrica desde el centro de carga hasta el vehículo. En la actualidad existen distintos tipos de conectores, esto depende directamente del fabricante del vehículo. Dado que la tendencia apunta hacia la masificación de la movilidad eléctrica, se han estado haciendo esfuerzos por estandarizar los conectores y los centros de carga. Hoy en día, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés) a la par de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en inglés) son las entidades encargadas de la normalización de los conectores<sup>5</sup>.

Los vehículos eléctricos cuentan en su interior con un cargador (*OBC onboard charger*), cuya función es adecuar la corriente eléctrica proveniente de la red eléctrica (corriente alterna) en corriente directa que pueda ser almacenada y aprovechada por las baterías del vehículo eléctrico. En el proceso de transformación de corriente se presentan fenómenos de incremento de temperatura, por esa razón, la potencia eléctrica que pueden manejar estos dispositivos está limitada; para voltajes mayores a los 250 V e intensidades de corriente superiores a 75 A, se recomienda que una estación (centro de carga o electrolinera) suministre directamente la corriente continua a las baterías, realizando el proceso de adecuación de corriente fuera del vehículo. Para llevar a cabo este tipo de recargas se utilizan tres tipos de conectores; CHAdeMO, que significa *Charge de Move* que puede traducirse como carga para moverse, CCS Combo (*Combined Charging System*) y SAE J1772. Estos tres conectores se encuentran en las estaciones de carga rápida, siendo el CCS el elegido como estándar tanto por fabricantes americanos como europeos. La figura 2.5 muestra un conector tipo CHAdeMO, este cargador es promovido por la industria automotriz japonesa (Nissan, Mitsubishi, Toyota y Subaru), comenzó con potencias máximas de 50 kW y al año 2020 es capaz de alcanzar los 900 kW reduciendo significativamente los tiempos de carga. Está diseñado para recargas rápidas en corriente continua y se ajusta al estándar internacional para los conectores y modos de recarga de los vehículos eléctricos IEC62196-3<sup>6</sup>.

El conector tipo CHAdeMO también es empleado por vehículos eléctricos de las marcas Nissan Leaf, Mercedes Clase B, Peugeot Ion, Fiat 500e, y Subaru Plug-in Stella.

El conector SAE J1772 es el más utilizado en todo el mundo, sobre todo en el continente americano y asiático. Se encuentran en los puntos de recarga nivel I, están diseñados para sistemas monofásicos

<sup>5</sup>SENER 2023.

<sup>6</sup>Instituto Mexicano del Transporte 2020.



Figura 2.6: Conector tipo SAE J1772.



Figura 2.7: Conector tipo 2.

a 120 V o 240 V. El J1772 está diseñado para potencias máximas de 19 kW, para tensiones de 250V y corrientes de hasta 80 A. La figura 2.6 muestra un conector SAE J1772. Este conector es utilizado por los vehículos Nissan Leaf, Chevrolet Bolt EV, Fisker Karma, Toyota Prius, Ford Focus Electric, Tesla Model S, Tesla Roadster, Renault kangoo Z.E y Renault Fluence Z.E.

La compañía alemana Mennekes ha desarrollado el conector VDE-AR-E 2623-2-2 también conocido como tipo 2. La Asociación de Constructores Europeos de Automóviles (ACEA) ha acordado que sea el estándar europeo. Cuenta con 7 pines para corrientes monofásicas de 16 A y trifásicas de 63A, tensiones de 100 V a 500 V y potencias de 3.7 kW a 43.5 kW. Los vehículos compatibles con este conector son el Tesla Model S, Porsche Panamera Hybrid, BMWi3, Renault Zoe y VW e-Golf. La figura 2.7 contiene al cargador tipo 2.

El fabricante alemán Schneider Electric, la compañía italiana SCAME y el fabricante francés Legrand desarrollaron el conector SCAME o también conocido como tipo 3. Este conector, permite una recarga semi-rápida con corriente alterna. Está limitado a corrientes de 32 A monofásica y trifásica, 500 V y una potencia máxima de 22 kW. Existen distintos modelos de 4, 5 o 7 pines, en función de



Figura 2.8: Conector SCAME.

la potencia requerida. La figura 2.8 muestra un conector de este tipo.

El conector CCS (Combined Charging System por sus siglas en inglés), ha sido promovido por la CHarIn organization, la cual es una organización dedicada a promover la interoperabilidad basada en el sistema de carga combinado como el estándar global para cargar todo tipo de vehículos. Se le conoce como combo 2 ya que este conector está basado en una toma tipo 2 y cuenta con 2 pins adicionales de potencia en corriente continua. Una ventaja de este conector es que podemos tener un conector tipo 1 y un conector tipo 2 en un mismo lugar, en la actualidad los conectores CCS soportan potencias de hasta 400kW. Las compañías automotrices americanas y europeas que han implementado este tipo de conector son General Motors, Ford Motor Company, Audi, VW, BMW y Porsche. Una imagen del conector CCS se muestra en la figura 2.9.

### 2.3. Carga de vehículos eléctricos

La cantidad de vehículos que se pueden cargar eléctricamente al mismo tiempo depende de varios factores, entre ellos, la infraestructura de carga y la capacidad de la red eléctrica de distribución. Al utilizar los valores de voltaje y corriente de una red doméstica, es posible cargar hasta 6 vehículos al mismo tiempo en un nivel I de carga.<sup>7</sup>

En México la entidad encargada de proveer y suministrar electricidad a la población es la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La CFE regula la demanda de energía eléctrica solicitada mediante tarifas, las cuales varían en función de la temperatura ambiente de la zona donde se encuentra el vehículo y de la demanda de energía eléctrica requerida por el mismo. Así pues, de manera general, se puede dividir en tarifa doméstica, comercial e industrial. La tarifa doméstica se aplica únicamente a servicios en baja tensión para cargas que no sean consideradas de alto consumo. En México, la persona

---

<sup>7</sup>Matteo 2018.



Figura 2.9: Conector tipo CCS.

Nivel de Carga	Potencia Cargador (kW)	Cantidad de Vehículos	Tarifa CFE
I	2	12	PDBT
II	5	20	GDBT
III	50	> 20	GDMTH

Tabla 2.1: Tabla con la demanda y tarifa de los diferentes tipos de cargadores, elaboración propia.

que cuente con un vehículo eléctrico y desea tener un centro de carga en su domicilio<sup>8</sup>, es colocada en una tarifa “preferencial” comercial denominada Pequeña Demanda Baja Tensión (PDBT). Esta tarifa se aplica en servicios con demandas de hasta 25 kW, por esa razón es la tarifa seleccionada para centros de carga nivel I en el sector doméstico. Si el usuario requiere una demanda de energía mayor a 25 kW la CFE coloca al usuario en las tarifas industriales definidas como Gran Demanda Baja Tensión (GDBT) para demandas energéticas de hasta 100 kW y Gran Demanda Media Tensión (GDMTH) para demandas mayores a 100 kW<sup>9</sup>. La tabla 2.1 contiene la cantidad de vehículos eléctricos que podrían ser conectados considerando la potencia de los centros de carga y la tarifa correspondiente.

Es importante mencionar que en la tarifa GDMTH los costos de la energía varían a lo largo del día, siendo el de menor costo en el periodo de las 0:00 a las 6:00 horas (conocido en México como horario base), con un precio promedio de \$1.38/kWh<sup>10</sup>. Esto abre un abanico de posibilidades para realizar distintas estrategias de carga que maximicen los beneficios económicos de la movilidad eléctrica. Adicionalmente, desde el año 2007 la legislación mexicana permite la interconexión de sistemas generadores de energía eléctrica de origen renovable a la red eléctrica de distribución. Este hecho permite que empresas de transporte eléctrico instalen fuentes renovables de energía para la carga de

<sup>8</sup>CFE 2023c.

<sup>9</sup>CFE 2023d.

<sup>10</sup>Ibíd.

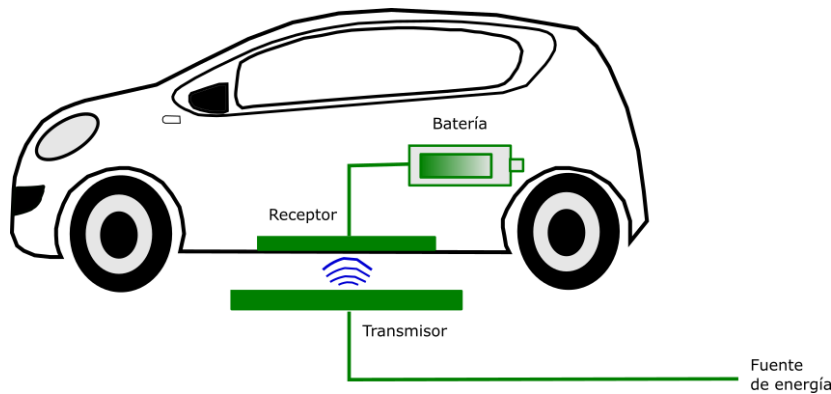


Figura 2.10: Carga inductiva de un vehículo eléctrico.

baterías y se interconecten a la red eléctrica con la ventaja de inyectar sobrantes de energía o utilizar la energía en situaciones de baja producción.

## 2.4. Carga inductiva

Otra manera de proveer energía a los vehículos eléctricos es mediante la carga inductiva; es decir, por transferencia de energía de forma inalámbrica. En la figura 2.10 se muestra un esquema que contiene los componentes involucrados en la carga inductiva. Al emplear este modo de carga no se requieren cables ni conectores para suministrar energía eléctrica a los vehículos. Precisamente, esta característica, podría permitir que los vehículos eléctricos pudieran ser provistos de energía mientras se encuentran en circulación, tal y como ya se hace en un circuito de pruebas en la ciudad de Chiari, en Italia. El circuito de pruebas tiene una longitud de un poco más de un kilómetro, por debajo de su asfalto se instalan bobinas que transmiten energía eléctrica de forma inalámbrica al vehículo eléctrico que se encuentra en circulación sobre la pista. En Gotland, Suecia, este sistema de carga es una realidad que ya funciona con éxito en el tramo carretero de la ciudad de Gotland hasta su aeropuerto. Esta modalidad de carga sería ideal para zonas en donde existe tráfico constante y regular. Además, su aplicación podría facilitar el uso de los vehículos eléctricos y mejorar la eficiencia del transporte público eléctrico, dado que no habría necesidad de programar paradas para recargar sus baterías.<sup>11</sup>

La infraestructura necesaria para la carga inductiva demanda de intensiva inversión de capital. En la siguiente sección también esbozaremos una opción interesante para cargar las baterías fuera del vehículo y evitar que esté sin ser utilizado por largos períodos de tiempo mientras la batería se esté cargando.

## 2.5. Intercambio de baterías

El intercambio de baterías es otra manera de proveer energía a un vehículo eléctrico cuando la carga de su batería está disminuyendo. La compañía *Better Place*, en el año 2007, implementó por primera vez este modelo de reabastecimiento de energía para los vehículos eléctricos<sup>12</sup>. Esta tecnología permite reemplazar las baterías con bajos niveles de carga por un paquete de baterías con una carga

<sup>11</sup>Soto 2023.

<sup>12</sup>Gunther 2013.



del 100 %. El proceso en realidad es bastante sencillo y toma unos cuantos minutos. Cuando una persona requiere recargar las baterías de su vehículo debe dirigirse a una estación de intercambio y estacionar el auto, algunos vehículos tienen la funcionalidad de colocarse en el área de intercambio de baterías de manera autónoma, una vez que el vehículo se encuentra en la posición correcta dentro de la estación de intercambio, un brazo robótico desmonta el paquete de baterías con bajo nivel de carga del vehículo y lo reemplaza por uno con carga completa, el proceso toma cerca de 3 minutos. Este proceso es similar al llenado de tanque de combustible de los vehículos de combustión interna<sup>13</sup>.

Para la implementación a nivel global de este tipo de tecnología, se requiere que los fabricantes de vehículos eléctricos estandaricen los paquetes de baterías; actualmente cada vehículo tiene su propio banco de baterías con pesos y dimensiones distintas. En ese sentido, en Japón, las compañías automotrices Honda, Suzuki, Kawasaki Motors y Yamaha Motors han creado la empresa denominada Gacacho Incorporation con el objetivo de producir baterías estandarizadas que puedan ser intercambiables entre sus modelos de vehículos<sup>14</sup>.

Pedro Palandrani, director de investigación de Global X ETF, compañía dedicada a buscar oportunidades de inversión a nivel mundial, sugiere<sup>15</sup> que el intercambio de baterías puede complementar a la carga, ya que ambos tienen sus ventajas y desventajas, y la elección entre ellos depende del caso de uso específico y la infraestructura disponible. Para Palandrani, un desafío es la falta de compatibilidad de los paquetes de baterías. La tecnología de las baterías es parte de la ventaja competitiva de los fabricantes de equipos originales, que podrían perder si ingresan a programas de estandarización. Además, ya que el intercambio de baterías requiere de altos montos de capital por ser un servicio que requiere de inventarios suficientes de baterías cargadas para ofertar el intercambio y de tecnología para reemplazar las baterías, los apoyos gubernamentales o esquemas de financiamiento novedosos son fundamentales. Por otra parte, el intercambio de baterías tiene menores impactos en la red; ya que la velocidad de recarga de las baterías puede ser administrada en las estaciones. También se reduce de manera significativa el costo de compra de un vehículo eléctrico, dado que el valor de un vehículo eléctrico sin un paquete de baterías es mucho más accesible<sup>16</sup>.

Con el paso de los años las baterías van perdiendo su capacidad de carga, con un sistema de intercambio de baterías las personas propietarias de los vehículos podrían disponer de la última tecnología de baterías, lo que se traduce en un beneficio directo para quien posee vehículos eléctricos. Las baterías ubicadas en la estación de intercambio pueden ser cargadas lentamente, eliminando la degradación asociada con la carga rápida en corriente continua CC. Probablemente, esta tecnología detone la electromovilidad, no solamente en automóviles, sino también en la movilidad con vehículos de dos o tres ruedas, flotas de transporte colectivo y flotas de servicio pesado<sup>17</sup>.

Actualmente, China lidera, a nivel mundial, la implementación de esta tecnología. Para finales del 2021 había instalado cerca de 1300 estaciones de intercambio y tienen planeado incrementar esta cifra a 26000 estaciones para el 2025<sup>18</sup>.

La tecnología de intercambio de baterías es ideal para flotillas de vehículos que deben estar en circulación de manera continua y sin interrupciones, como es el caso de las flotillas que proporcionan el servicio de transporte público a la población.

Esta opción de intercambio de baterías será discutida con mayor detalle en un próximo capítulo.

---

<sup>13</sup>Biliti Electric Inc. 2022.

<sup>14</sup>Ramanujam 2022.

<sup>15</sup>Forbes 2022.

<sup>16</sup>Ibíd.

<sup>17</sup>IDTechEx 2022.

<sup>18</sup>Chambers and Partners 2022.

# Capítulo 3

## Políticas de incentivos y regulaciones hacia la electromovilidad



En este capítulo revisaremos brevemente las políticas de incentivos de promoción y las regulaciones que se deben promover para una transición hacia la electromovilidad.

Aunque los vehículos eléctricos han demostrado muchas ventajas en comparación con los vehículos de combustión interna (ICV), las personas usuarias, por inercia, esperan más información y conocimiento para migrar a los vehículos eléctricos, pues preferirán continuar con lo conocido como los precios de gasolina y costos de mantenimiento de los ICV. Otra motivación será enfatizar las ganancias sociales con los beneficios que no son evidentes a corto plazo.

Alrededor del mundo (particularmente en Europa), se han implementado los siguientes incentivos

fiscales:

- Incentivos en la compra
- Exención del IVA
- Impuesto de registro de vehículo
- Impuesto de propiedad
- Beneficio fiscal a empresas
- Descuento o Estacionamiento gratis
- Acceso libre en carreteras de peaje

En las siguientes subsecciones ampliaremos estos incentivos.

### 3.1. Incentivos de compra

Los incentivos de compra son ofrecidos en forma de subsidios o descuentos en el momento de la compra mediante el gobierno u organizaciones que trabajan en reducir las externalidades negativas de este transporte. Sus objetivos son para animar a quien compra y consecuentemente para estimular el mercado de EV. Algunos de los descuentos de compra también son ofrecidos en forma de reembolsos, arrendamientos especiales de financiamiento a bajo interés y apoyo de marketing<sup>1</sup>.

Podemos encontrar ejemplos de la implementación de este incentivo en países como Alemania, Reino Unido, Francia, Bélgica, España, Portugal, Finlandia o Austria. En este trabajo abundaremos en este tipo de incentivos en el capítulo de casos de negocios 5.

#### Exención del IVA

La exención del IVA se otorga a quien compra al momento de la adquisición. La exención de este impuesto ya se aplica en Francia, Noruega, Austria y Países Bajos, por mencionar algunos<sup>2</sup>.

#### Beneficio al registro

Normalmente, todos los vehículos de motor que ingresan a un país deben estar registrados. De acuerdo con las normas del país, se cobrará una cantidad de dinero como impuesto denominado impuesto de registro del vehículo. La cantidad de dinero es diferente según el tipo de vehículo y dado que los EV en general emiten menos emisiones, se otorga un descuento en el registro. Es claro que una mayor diferencia en el cobro, a vehículos que emitan con respecto a los de emisiones reducidas o cero emisiones, influirá positivamente en la compra de vehículos eléctricos<sup>3</sup>.

En algunos países europeos como, Noruega, Países Bajos, España, Hungría, Francia y Polonia ya se da este beneficio.

---

<sup>1</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.

<sup>2</sup>Ibíd.

<sup>3</sup>Ibíd.

## Beneficio en el impuesto de propiedad

En muchos países el impuesto a la propiedad de vehículos se aplica a todos los vehículos con ruedas usados en vía pública, y el monto del impuesto está basada en el peso, tipo de combustible o por cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. Hay países donde este impuesto está basado únicamente por el tipo de combustible y cantidad de emisiones. A los BEVs se les otorga una reducción en los impuestos de circulación. Por ejemplo en Alemania, Suecia, Países Bajos, Austria, Portugal y Hungría, todos los tipos de EV y de plug-in están exentos del impuesto anual por circulación durante 5 años, en Reino Unido también, pero de una forma diferente. Un estudio concluyó<sup>4</sup> que eliminar este incentivo tendría un impacto negativo en el mercado de adopción de EV en general, incluidos los BEV.

## Beneficio fiscal a empresas

Los beneficios fiscales a empresas está dirigido a compañías o corporaciones que tengan BEVs en su flotilla. A menudo se les exenta de pagar impuestos por tales vehículos o se paga una tasa menor. Hungría, Austria, Noruega, Reino Unido, Alemania y Francia ya dan este beneficio fiscal.

## Estacionamiento con descuento o gratuito

Estacionamiento gratuito en espacios públicos para los PEVs o un descuento considerable, es uno de los incentivos políticos ofrecidos en diferentes países para alentar la transición hacia la electromovilidad. Se utilizan diferentes metodologías para estudiar el efecto del estacionamiento con descuento/gratuito para los PEV; análisis estadísticos, entrevistas y diferentes localizaciones geográficas. Las investigaciones<sup>5</sup> han abordado el efecto de los incentivos de estacionamiento gratuito en la adopción de la electromovilidad. Sin embargo, otros estudios encontraron que el estacionamiento gratuito/con descuento es ineficaz o tiene impactos menos significativos en comparación con otros tipos de estímulos en el mercado de los PEV<sup>6</sup>.

## Disminución del peaje en carreteras

Las autopistas de peaje son de propiedad privada o del gobierno a las que se da acceso mediante un pago de tarifa o peaje. Este peaje puede variar de acuerdo con el tipo de vehículo; dimensiones, peso, número de ejes o remolques en el caso de vehículos de carga y, por supuesto, si el vehículo es eléctrico o no. Por ejemplo, este incentivo se ha utilizado en el segundo piso de la Ciudad de México<sup>7</sup>.

## 3.2. Incentivos no financieros

También existen incentivos que no se pueden intercambiar directamente por dinero. Los incentivos no financieros son privilegios especiales que se ofrecen a las personas usuarias de vehículos eléctricos y adoptantes potenciales sin que el costo directo de provisión sea asumido por quien usa el EV. Estos privilegios son más recurrentes y se disfrutan durante la propiedad de los vehículos hasta que

---

<sup>4</sup>Hackbarth 2013.

<sup>5</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.

<sup>6</sup>Ibíd.

<sup>7</sup>PASE 2022.

se modifican, suspenden o revierten las políticas de habilitación. Los tipos más destacados son el desarrollo de infraestructuras de recarga y el acceso a carriles exclusivos de circulación<sup>8</sup>.

## Infraestructuras de recarga

Para mitigar la ansiedad de rango o autonomía asociada con el uso de EV, se necesita proporcionar una infraestructura de carga. Una encuesta realizada en 20 países mostró que el 42 % de las personas señalan que la instalación de una red de carga suficiente en las autopistas es un factor que afecta positivamente la adopción de vehículos eléctricos<sup>9</sup>. Este resultado apoya el argumento de que la infraestructura de carga tiene el potencial de impulsar las ventas de vehículos eléctricos.

Crear una infraestructura de carga efectiva impulsa una mayor penetración en el mercado de BEV, el enfoque debe cambiar de las áreas urbanas a las carreteras interurbanas y las áreas rurales. Las áreas urbanas en su mayoría tienen alternativas de transporte público y actividades más sostenibles. Reenfocar la infraestructura de carga a estas áreas implicaría que los BEV serían más adecuados para viajes interurbanos de larga distancia, lo que los haría atractivos también para la población rural cuyo rango de viaje se ajusta más al ciclo de descarga y recarga de los BEV.

## Acceso a carriles restringidos

Otra forma de dar incentivos es otorgar a los BEVs acceso a carriles y áreas de tránsito usualmente restringidas, lo que incluye carriles de autobús, áreas peatonales, y carriles para vehículos de alta ocupación en algunos lugares solo durante las horas pico de tráfico o durante todo el día.

### 3.3. Desincentivar los vehículos de combustión interna

Mientras los incentivos discutidos hasta ahora se han dirigido a proporcionar beneficios para adoptar BEVs y EVs en general. También, hay un par de medidas políticas que directamente no ofrecen una utilidad a quienes usan los EV, pero en cambio están enfocadas en desalentar la proliferación de los ICVs. El objetivo de la aplicación de estos es reducir el consumo de combustibles fósiles, disminuir la emisión de gases efecto invernadero y presentar a los EVs como la mejor alternativa. El aumento del impuesto sobre el combustible o los impuestos sobre la gasolina son medidas generales para administrar el consumo de combustible, las emisiones o aumentar los ingresos. Este aumento desincentiva a los vehículos convencionales; es más, este incremento podría ser simultáneamente un incentivo efectivo para los PHEV en general y los BEV en particular<sup>10</sup>.

En México existe el IEPS<sup>11</sup>, el IEPS es un impuesto, creado en 1980, que grava combustibles, plaguicidas, bebidas alcohólicas, refrescos, tabacos y alimentos con alto contenido calórico y otros productos que no forman parte de un cuadro básico. Al igual que el Impuesto al Valor Agregado (IVA) es un impuesto indirecto, por lo que las personas no lo pagan directamente. Este impuesto también es aplicado a las gasolinas. La cuota del IEPS es actualizada conforme a la inflación, para la gasolina Magna será de \$5.9195 pesos por litro en 2023, lo que supone un incremento respecto a los

---

<sup>8</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.

<sup>9</sup>Lieven 2015.

<sup>10</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.

<sup>11</sup>Suárez 2022.

\$5.4917 pesos por litro que se cobrarán hasta el 31 de diciembre de 2023. En el caso de la gasolina Premium la cuota del impuesto especial a pagar pasará de \$4.6375 pesos a 4.9887 pesos por litro a partir del 2024 y para el diésel la cuota impositiva pasará de \$4.6375 pesos por litro a \$6.5055 pesos en 2023.

El incremento o decremento de este impuesto podría ser utilizado para incentivar o desincentivar el uso de ICV promoviendo el uso de otros tipos de vehículos o incrementar el uso del transporte público con objetivos para promover la sustentabilidad del transporte. Sin embargo, la administración actual ha decidido renunciar total o parcialmente a la recaudación del IEPS en gasolinas para atajar el alza súbita de los precios de los combustibles en el mercado internacional y, también, ha omitido definir una estrategia para disminuir la emisiones de GEI en el transporte.

Hemos planteado brevemente incentivos, ahora pasaremos a revisar algunas normas.

## 3.4. Normatividad

Un primer aspecto que se deriva del fuerte incremento esperado en la infraestructura para la recarga de EV, es la clara necesidad de modernización del sistema eléctrico nacional. Esta modernización no se limita al incremento de capacidad de generación, transformación y transmisión, sino que demanda cambios cualitativos en los equipos eléctricos, para garantizar la operación óptima de las redes eléctricas incorporando recursos variables y distribuidos tanto de generación como de nuevos centros de recarga. Adicionalmente, el cambio climático que estamos padeciendo obliga a cambiar el abasto de energía eléctrica por medio de fuentes renovables tanto para la cadena de valor como para la recarga de vehículos eléctricos. Es por eso que en el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022- 2036 (PRODESEN) se considera que el consumo esperado de energía de autos eléctricos para 2036 sea de 13,283 GWh, lo que representaría un 2.8% del consumo total de energía del país<sup>12</sup>.

La revisión de la normativa en la cadena de valor de la industria de vehículos eléctricos es de vital importancia y más que es un mercado emergente. Así, anticipar y evitar a futuro potenciales problemas medioambientales que se vislumbran en el proceso de fabricación y utilización de los EV. Los EV's difieren de los vehículos de combustión principalmente en las baterías. Es aquí donde se debe poner atención y, en especial en lo referente a las baterías, ya que mediante un posible reciclado de estas se considera la opción de la construcción de economía circular en la industria. Los aspectos medioambientales y de normatividad de los EV pueden ser retomados de las experiencias con los ICV, pero el tratamiento de las baterías es sustancial para que la transición a la electromovilidad sea amigable con el ambiente. Generar una política integral con protocolos sobre reciclaje y manejo de residuos es una tarea de todos los niveles de gobierno. Además, se necesita establecer obligaciones y responsabilidades, para que industria, usuarias, usuarios y autoridades en conjunto contribuyan a mitigar riesgos y generar oportunidades de negocio novedosas.

### 3.4.1. Manejo de baterías

En este tema se recomienda hacer una revisión de las normas y programas de manejo adecuado y disposición de baterías de vehículos eléctricos así como recomendaciones en materias de economías circulares, reciclaje, manejo y disposición de baterías. La economía circular en la vida útil de las baterías, es un modelo que contempla la reutilización de productos y partes, el reciclaje de componentes y el manejo adecuado de los residuos finales. Por ello se señala<sup>13</sup> la necesidad de acelerar la implementación

---

<sup>12</sup>Alianza Mx 2021.

<sup>13</sup>Ibíd.

de una regulación adecuada para el manejo de residuos que proteja al medio ambiente y la salud de las personas.

La importancia de estas normativas, para la industria de vehículos eléctricos, es anticipar y evitar a futuro potenciales problemas medioambientales derivados del final de la vida útil y reciclado de batería, generar una política integral con protocolos sobre reciclaje.

En México se debe considerar a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR), el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial (PNPGIRME). Adicionalmente se recomienda atender el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR) (SEMARNAT, 2020).

En particular<sup>14</sup>, se recomienda reformar la NOM-052-SEMARNAT-205 en materia de residuos peligrosos y tener al día la certificación y directorio de empresas de reciclaje, manejo y disposición, ya que las baterías de litio se consideran en la categoría de residuos de “manejo especial”. Esta es una de las tareas pendientes que la sociedad mexicana requiere poner atención.

A nivel internacional, las Recomendaciones para el Transporte de Bienes Peligrosos de la ONU<sup>15</sup> clasifican a las baterías de litio y sus residuos como “Clase”, la cual corresponde a sustancias y artículos misceláneos peligrosos, incluyendo sustancias nocivas para el medio ambiente, en la que se les asignan nomenclaturas específicas a diversos tipos de componentes de baterías de litio para su tratamiento específico.

- UN 3090 Baterías metálicas de litio.
- UN 3091 Baterías de litio contenidas o baterías metálicas de litio empacadas.
- UN 3480 Baterías de iones de litio.
- UN 3481 Baterías de iones de litio contenidas en equipos, o empacadas en equipos.
- UN 3536 Baterías de litio instaladas en unidades de transporte de carga.

Es muy importante considerar estas recomendaciones e incorporarlas a la normatividad existente.

Hasta este punto hemos hablado de la infraestructura para el manejo del principal componente en la electromovilidad (baterías) tratándose de materiales potencialmente contaminantes y que potencialmente tendrían una segunda vida de uso. Dada las características específicas de México, en el ámbito de la disponibilidad de litio podemos sugerir algunas acciones. También en la siguiente sección abordaremos otras sugerencias para nuestro país.

## 3.5. Posibles acciones para el entorno mexicano

En esta sección retomaremos recomendaciones para los aspectos de baterías, red eléctrica, incentivos, política fiscal e industrial.

### 3.5.1. Acciones en el ámbito de las baterías

Las baterías son una de las partes más costosas de los vehículos eléctricos, pues constituyen entre el 30 % y el 40 % del valor del automóvil<sup>16</sup>. Ante esto las empresas que las produzcan estarán generando

---

<sup>14</sup>SEMARNAT 2005.

<sup>15</sup>UNECE s.f.

<sup>16</sup>International Energy Agency 2022a.

uno de los componentes con mayor valor agregado y, con ello, el mayor margen de ganancia en la cadena productiva.

Y el tener la cercanía con fuentes de materias primas es crucial porque aproximadamente el 56 % del valor de las baterías se encuentra en sus componentes químicos utilizados para los ánodos, cátodos y electrolitos; mientras que las celdas, empaque y manufactura constituyen el 25 % del valor de la batería, y solo el 19 % a otros componentes<sup>17</sup>.

Que en el territorio nacional existan yacimientos de litio, constituye una ventaja comparativa en materia de proveeduría de baterías. Pero un reto en particular que enfrenta México, es la incertidumbre en la participación de la iniciativa privada. Pues con la nacionalización del litio, la ley declara que es de utilidad pública, y que no se otorgarán licitaciones, contratos, permisos o autorizaciones en la materia (Ley Minera 2022)<sup>18</sup>. Esta Ley en sus artículos 1 y 10 menciona que su aplicación es en lo relativo a la exploración, la explotación, beneficio y el aprovechamiento del litio. Es importante mencionar que para el litio, u otros minerales estratégicos, establece también la reserva del aprovechamiento, que puede referirse a la manufactura de dispositivos que lo contengan, como las baterías.

México ha emitido normas para la nacionalización del litio, una de las principales materias primas para fabricar baterías para vehículos eléctricos. Las baterías de iones de litio son el componente de mayor valor en los autos eléctricos, y en el marco del T-MEC están sujetas a reglas de origen conforme al artículo 10 del tratado.

Estos factores llevan a México a replantear y buscar las cadenas de suministro más resilientes en la fabricación de vehículos eléctricos, con el fin de continuar siendo relevante en la industria automovilística.

### 3.5.2. Red eléctrica

Como ya discutimos en secciones anteriores, la infraestructura de la red eléctrica es identificada como un obstáculo prioritario, un tema toral para la transición. El mayor obstáculo radica en la reconfiguración y adaptación eléctrica habitacional. Es importante definir el tipo de infraestructura: de carga y de red, la primera haciendo alusión a cargadores y estaciones de carga y la segunda más sobre la estabilidad, la generación, la distribución y las telecomunicaciones.

Respecto a la red eléctrica, se recomienda ampliamente la elaboración de una estrategia a corto y largo plazo para el fortalecimiento de las redes de transmisión y distribución. Esta estrategia deberá conducir a una expansión de la red; pero para planificar la expansión, necesitamos de información confiable para poder actuar. A pesar de la existencia de algunas bases de datos y aproximaciones realizadas por la industria y la CFE, no existe un censo único confiable elaborado por una autoridad que incluya el número de cargadores privados. La importancia de esa información radica en que con ella, se tendrá mayor claridad en la demanda de energía eléctrica necesaria, por eso se recomienda un censo para recabar datos: oferta de cargadores, zonas y horas de carga. En este sentido, es importante que tanto los organismos encargados de generar información, como el INEGI, o instancias gubernamentales, como las secretarías de movilidad estatales, u organismos empresariales o de la sociedad civil se encarguen de generar información útil en estos temas para que la sociedad en conjunto pueda tomar decisiones informadas.

Lo más recomendable para aumentar la demanda de EV es la inversión gubernamental acompañada de subsidios, así como estandarizar el proceso y configuración de la carga (tecnológicamente hablando). Paralelamente considerar protocolos como el de punto de carga (OCPP Open Charge Point Protocol) y *vehicle to grid* (V2G) que se enfocan en la comunicación y control de carga, como se ha

---

<sup>17</sup>Advanced Propulsion Center UK 2023.

<sup>18</sup>Congreso de la Unión 2015.



discutido anteriormente.

### 3.5.3. Incentivos en México

Anteriormente se mencionaron incentivos que ya se aplican en otros países y de los cuales México puede tomar inspiración, como reformar y extender el decreto a la exención de impuestos en autos eléctricos, así como crear programas que incentiven a la oferta y la demanda por este tipo de vehículos.

Rivas Tovar<sup>19</sup> nos habla de los incentivos y desincentivos para el transporte público analizando las ciudades de Londres, Madrid y Ciudad de México. Aborda políticas gubernamentales y aunque este estudio es de 2007 nos permite contrastar el panorama con estudios más recientes como el de Ogunkunbi et al. en 2021<sup>20</sup>. Respecto a la Ciudad de México en el entonces 2007, comenzaba una tendencia a la diversificación en el transporte público masivo con la integración del sistema Metrobús, ya se contaba con la restricción de velocidad de vehículos, el sistema de limitación a la circulación, la revisión de emisión de gases y algunas políticas públicas como el impuesto al vehículo, precio de la gasolina y el sistema de multas.

Una de las principales políticas públicas para incentivar este tránsito hacia un mejor servicio y mayor uso de transporte público consiste en que los autobuses tienen siempre prioridad sobre el transporte privado, por ejemplo carriles preferenciales o cuotas preferenciales en los caminos de cuota.

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público ya ha anunciado que se encuentra en proceso de diseñar incentivos fiscales que se enfoquen en incrementar la rentabilidad de las inversiones en el marco de la nueva política industrial promovida por la Secretaría de Economía, misma que identifica a la electromovilidad como sector estratégico<sup>21</sup>.

También se ha sugerido reformar<sup>22</sup> los incentivos a la importación de vehículos eléctricos en dos vertientes y consiste en ampliar la duración del decreto que los exenta de aranceles de acuerdo con las fracciones arancelarias de la tarifa de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y Exportación que aplican desde el 2007. Dicha disposición no incorpora la exención de impuestos a las autopartes.

Un ejemplo de incentivos es el ECOTAG en la Ciudad de México, una tarjeta de prepago que concede el 20 % de descuento sobre la tarifa habitual a los vehículos eléctricos que transiten por ciertas zonas urbanas<sup>23</sup>. Sin embargo, Alianza MX<sup>24</sup> señala que estos esfuerzos se tienen que replicar a nivel federal y estatal, ya que las políticas actuales no han sido suficientes.

En las tablas 3.1 y 3.2 se resumen las recomendaciones ambientales y los protocolos de interconexión que deben ser atendidos para promover la electromovilidad.

La tecnología que impulsa la industria de carga de vehículos eléctricos ha evolucionado mucho en los últimos años, los vehículos eléctricos se han convertido en parte del ecosistema del transporte, estamos presenciando un cambio hacia la estandarización de los cargadores y la introducción de nuevos protocolos.

Acualmente, es particularmente desafiante promover los nuevos desarrollos y garantizar que las tecnologías cumplan con las normas y estándares más recientes. Los operadores de puntos de carga y los proveedores de servicios de movilidad eléctrica enfrentan desafíos para expandirse internacionalmente, especialmente al tratar con diferentes protocolos, regulaciones e integrar capacidades de roaming en sus redes.

---

<sup>19</sup>Rivas Tovar y al 2007.

<sup>20</sup>Ogunkunbi, Al-Zibaree y Meszaros 2021.

<sup>21</sup>Saldivar 2022.

<sup>22</sup>Alianza Mx 2021.

<sup>23</sup>PASE 2022.

<sup>24</sup>Alianza Mx 2021.

Norma o Acción	Descripción
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	Tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable mediante la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.
Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR)	Fomentar el manejo y la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el país, mediante el financiamiento de estudios o programas de prevención y gestión integral y proyectos. Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial (PNPGIRME)
Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DB-GIR)	Estudio que identifica la situación que presenta nuestro país en la generación y el manejo de los residuos a nivel nacional, donde se consideran temas como: la cantidad y su composición, infraestructura instalada; así como la capacidad y efectividad para manejarlos integralmente, de acuerdo con las definiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y el reglamento de dicha ley. El DGBIR debe ser considerado por los gobiernos, en cualquiera de sus niveles, para desarrollar la política pública en gestión de residuos, misma que debe incluir la planeación de la infraestructura, a fin de mejorar los servicios públicos y la valorización de los residuos.
NOM-052-SEMARNAT-205	Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013	Establece los parámetros y la metodología para el cálculo de los promedios corporativos meta y observado de las emisiones de bióxido de carbono expresados en gramos de bióxido de carbono por kilómetro (g CO <sub>2</sub> /km) y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, expresado en kilómetros por litro (km/l), con base en los vehículos automotores ligeros nuevos, con peso bruto vehicular que no exceda los 3 857 kilogramos, que utilizan gasolina o diesel como combustible cuyo año-modelo sea 2014 y hasta 2016 y que se comercialicen en México.
NOM-042-SEMARNAT-2003	Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos
Reglamento de la ONU 100	Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico
UN GTR 20	Parte de los Reglamentos Técnicos Globales (GTR), nos habla de la Seguridad de Vehículos Eléctricos (EVS) <sup>25</sup>
UN GTR No.22	Parte de los Reglamentos Técnicos Globales (GTR) habla sobre la durabilidad de la batería del vehículo para vehículos eléctricos <sup>26</sup>

Tabla 3.1: Tabla resumen de las normas a seguir en la transición a la electromovilidad.

Tipos interconexión a la red	Descripción de los protocolos de interconexión
Open Charge Point Protocol	Es un protocolo de aplicación para la comunicación entre las estaciones de carga de vehículos eléctricos (EV) y un sistema de gestión central, también conocido como red de estaciones de carga, similar a los teléfonos móviles y las redes de telefonía móvil.
Vehicle-to-grid (V2G)	Describe un sistema en el que los vehículos eléctricos enchufables (PEV) venden servicios de respuesta a la demanda a la red. Los servicios de demanda están entregando electricidad o reduciendo su tasa de carga.

Tabla 3.2: Tabla resumen de los protocolos para interconexión a la red de vehículos eléctricos.



# Capítulo 4

## Estaciones de intercambio



A medida que la autonomía de los vehículos eléctricos es mayor y las baterías son más grandes, la tecnología de carga rápida no será suficiente para satisfacer la creciente demanda de carga. Debido a que las ventas de vehículos eléctricos superan a la tasa de instalación de centros de carga (electrolineras), es necesario buscar alternativas eficientes y de fácil acceso a la población, que permitan solucionar los inconvenientes que mencionamos con anterioridad. Una propuesta interesante es la tecnología conocida como intercambio de baterías<sup>1</sup>.

Una estación de intercambio de baterías es un lugar diseñado para que los EVs tengan la posibilidad de cambiar las baterías descargadas por baterías completamente llenas de energía. Debido a que la estación de intercambio dispone de varias baterías que pueden ser cargadas continuamente o cuando convenga, se elimina la necesidad de conectarse a un centro de carga de baterías y, por lo tanto, reducir el tiempo de espera de carga; el tiempo de estadía es equivalente al tiempo que pasan en las bombas

---

<sup>1</sup>IDTechEx 2022.

de gasolina y diésel los vehículos de combustión interna. Este proceso de intercambio de baterías es menor a los 10 minutos<sup>2</sup>. La tecnología de intercambio de baterías es ideal para flotas de vehículos en las que se necesita mantenerlos en operación, disminuyendo al mínimo el tiempo requerido para suministrarles energía. Ejemplos de estas flotas pueden ser los sistemas de transporte público de las ciudades. Estos sistemas ofrecen una excelente oportunidad para la implementación de esta tecnología, dado que la prestación del servicio no puede ser interrumpida por los tiempos asociados a la carga de energía de los vehículos y los vehículos deben estar a disposición para transportar personas el mayor tiempo posible.

En la siguiente sección analizaremos las diferencias entre la carga y el intercambio de baterías.

## 4.1. Beneficios del intercambio de baterías

Como ya mencionamos, el intercambio de baterías reduce significativamente el tiempo de carga requerido por los vehículos eléctricos. El intercambio de baterías proporciona una alternativa que involucra la sustitución de las baterías descargadas por baterías pre-cargadas.

Los cargadores enchufables utilizados en las estaciones de carga son lentos y en su mayoría son capaces de cargar un solo vehículo a la vez. El sistema de inducción rápida compromete el manejo eficiente de las baterías.

Mientras que una estación de carga de baterías debe considerar el espacio del vehículo a cargar, en el intercambio se pueden apilar las baterías mientras que se están cargando fuera de los vehículos. Es decir, en las estaciones de intercambio, las baterías se pueden cargar en conjunto para posteriormente intercambiarlas. Así en una estación de intercambio, el espacio requerido para cargar las baterías es menor en comparación con el espacio necesario para los vehículos en las estaciones de carga que cargan un vehículo durante horas. Esto hace que las estaciones de intercambio sean más eficientes y tengan menores costos de capital destinado a infraestructura y a espacio. Esto último, está alineado con el manejo sustentable de la renta de la tierra.

Como hemos mencionado, la ansiedad sobre el rango de autonomía es uno de los principales temores sobre los vehículos eléctricos. Este temor se incrementa debido a la falta de infraestructura de carga y al tiempo que se debe dedicar a la carga. El intercambio de baterías ayuda a resolver parte de esta problemática, ya que es más fácil, rápido y conveniente establecer estaciones de intercambio que requieren menos tiempo en el proceso de intercambio y, de esta manera, el tiempo de carga o tiempo muerto, solo se le asigna a la batería y no a quien usa el vehículo.

Actualmente existen dos maneras de llevar a cabo el procedimiento para intercambiar las baterías de los vehículos eléctricos: de manera automatizada, y de forma manual. Debido al peso de los paquetes de baterías (mayores a los 500 kg) que usan los grandes vehículos: autobuses y camiones eléctricos, un dispositivo mecánico es necesario para desacoplar automáticamente las baterías descargadas y colocar las baterías nuevas. En cambio, en los vehículos eléctricos de dos y tres ruedas (motocicletas, bicicletas, *scooters*, *tuk tuk*), en los cuales los pesos de las baterías es menor a los 15 kg, el intercambio de baterías realizado de manera manual por una persona que desmonta la batería descargada y coloca la nueva batería.

Otro beneficio del intercambio de baterías es que quien posee la flotilla y puede poseer también la batería y tiene la opción de administrar su uso de una manera más eficiente, cuidando la forma de la carga para maximizar su vida útil. Esta posibilidad es diferente al proceso de carga de vehículos donde la rapidez de la carga puede mermar la vida útil de la batería. Así, el intercambio de baterías permite alargar la vida útil y deja la batería en mejores condiciones para promover su reutilización o reciclaje en lugar de desecharlas después de un solo uso. Por supuesto, en el reciclaje se aprovecharían los

---

<sup>2</sup>Cooley 2022.

materiales originales para rehacer nuevas baterías. Adicionalmente, cabe mencionar que, las estaciones de intercambio de baterías son más baratas de construir que las electrolinerías, esto las hace más accesibles para ciertos sectores de la población, que de otro modo no tendrían manera de abastecerse de energía. El intercambio de baterías es una tecnología que podría tener un impacto significativo en países en desarrollo donde los vehículos eléctricos están ganando popularidad<sup>3</sup>.

Esta manera de suministrar energía a los vehículos eléctricos abre un nuevo abanico de posibilidades. Ayuda a resolver el problema de infraestructura de estaciones de carga, reduce la llamada ansiedad de autonomía, facilita la recarga de energía y hace a los vehículos eléctricos más baratos y accesibles para la población. Como ya vimos, en un vehículo eléctrico, la batería es el componente de mayor costo, la tecnología de intercambio de baterías transforma el costo de capital en un costo operativo, reduciendo su costo e incentivando su compra. Estas posibilidades son compartidas para todos los niveles de transporte, de carga, públicos, individuales y de dos o tres ruedas.

Es importante notar que el intercambio de baterías puede promover un nuevo modelo de negocio, ya que separa el costo de la batería del propio vehículo. La aparición en la industria de compañías dedicadas a gestión de baterías bajo el modelo de BaaS (*Battery as a Service* por sus siglas en inglés) va a la alza. En el modelo “BaaS” quien compra un vehículo eléctrico sin batería y la adquiere pagando una suscripción, en otras palabras, quien posee el vehículo, “renta” la batería del vehículo eléctrico y paga por la energía que usa. El intercambio de baterías beneficia a quien posee vehículos eléctricos, ya que con el paso del tiempo las baterías van perdiendo su capacidad de carga; pero con el sistema de intercambio, se tiene acceso a la tecnología de baterías más reciente en el mercado. Como ya mencionamos, en una estación de intercambio las baterías pueden mantenerse bajo un régimen de carga lenta, esto elimina la degradación de las baterías asociadas a los procesos de carga rápida (CC). La tecnología de intercambio de baterías es fundamental para la masificación de la electromovilidad, no únicamente de vehículos, sino también de la micromovilidad eléctrica, las flotas comerciales de servicio pesado, las flotillas de transporte público, y las flotas de viajes compartidos. Además el intercambio de baterías podría ser una de las maneras más económicas de obtener almacenamiento de energía a gran escala para respaldar sistemas generadores de energía a partir de fuentes renovables.

El intercambio de baterías promueve el reciclaje y el segundo uso de las baterías de los vehículos eléctricos. La figura 4.1 muestra el ecosistema del intercambio de baterías; en ella se presentan las relaciones que existen entre los elementos que integran el ecosistema. Por una parte, se encuentran las fabricas de equipos, quienes se dedican a la venta de los vehículos eléctricos. Las compañías de baterías; que son las encargadas de suministrar las baterías a las estaciones de intercambio y estas tienen la función de brindar el servicio a los vehículos eléctricos. Por otra parte, están las compañías dedicadas a brindar un segundo uso y reciclaje a las baterías que ya no son de utilidad para los vehículos porque se han degradado y pueden ser sustituidas en las estaciones de intercambio. Estas compañías pueden poner las baterías como elementos a ser reciclados a disposición de los suministradores de baterías. Así, al intercambio de baterías se le puede asignar el objetivo de eliminar el costo de la batería del vehículo eléctrico y proporcionarla como un servicio por suscripción. En la figura 4.1, se pueden observar diferentes zonas sombreadas con colores distintos; cada color representa áreas potenciales de oportunidad para las empresas productivas del Estado Mexicano. Litio MX es la compañía encargada de explorar, explotar y aprovechar el litio ubicado en México. Esta empresa podría formar parte del ecosistema en actividades relacionadas con el suministro, reutilización y reciclaje de baterías, identificadas por la zona en color lila. Dentro de este ecosistema, representado en color amarillo, PEMEX, una empresa paraestatal dedicada a la explotación de petróleo y venta de hidrocarburos, podría encargarse de operar y administrar las estaciones de intercambio de baterías de flotillas de transporte público o de mercancías. La CFE, una empresa dedicada a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en México, podría ser responsable de proporcionar el suministro de energía para satisfacer la demanda en las estaciones de intercambio. La zona sombreada en color verde

---

<sup>3</sup>Biliti Electric Inc. 2022.

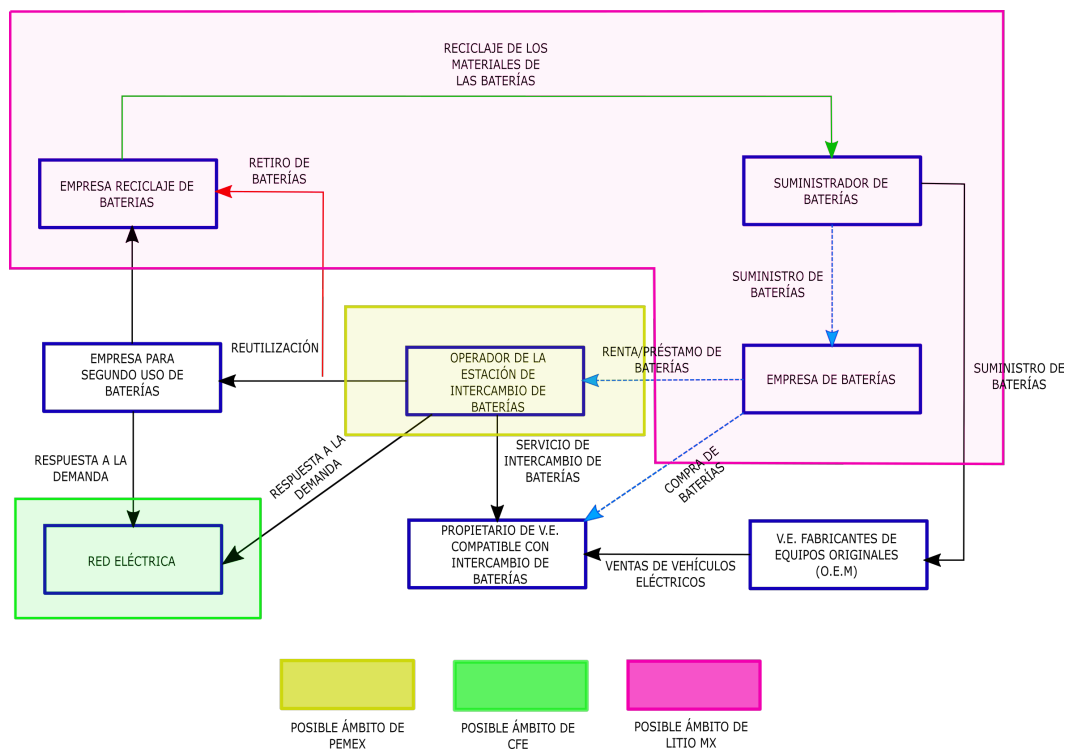


Figura 4.1: Ecosistema del intercambio de baterías. Esquema tomado del reporte ID-TechEx Battery Swapping for Electric Vehicles 2022-2023, modificada para esta publicación.

corresponde a la posible integración de esta empresa en el ecosistema.

A nivel mundial, China es líder en la implementación de la tecnología de intercambio de baterías, a finales del año 2021 contaba con alrededor de 1,300 estaciones de intercambio. El gobierno Chino ha implementado políticas que respaldan fuertemente el desarrollo de la movilidad eléctrica<sup>4</sup>.

En esta sección describiremos brevemente algunas formas en las que se ha implementado el intercambio de baterías. En el siguiente capítulo se profundizará en las formas de negocio. Aquí solamente describiremos los aspectos técnicos.

En diferentes regiones el intercambio se está adoptando inicialmente para los segmentos de vehículos eléctricos de dos y tres ruedas. Otro de los países que está considerando fuertemente esta tecnología es India, sobre todo para vehículos eléctricos de dos y tres ruedas. Las baterías de los vehículos eléctricos de dos y tres ruedas son ligeras (del orden de 10kg de peso), de tal manera que quien lo posee puede realizar el intercambio de baterías. Así, no se requiere la automatización de la estación de intercambio y por lo tanto se reducen los costos. El gobierno de la India busca transitar hacia la movilidad eléctrica mediante un conjunto de políticas enmarcadas en la Misión Nacional de Movilidad Eléctrica<sup>5</sup>.

En India, una persona puede comprar un vehículo eléctrico sin batería y rentarla con una compañía de energía eléctrica. Las baterías se alquilan en los puntos establecidos por la compañía energética, cuando la batería está con una carga baja, quien conduce la cambia por una batería completamente

<sup>4</sup>He 2021.

<sup>5</sup>Heavy Industry Government of India 2020.



Figura 4.2: Estación de intercambio de baterías de la marca automotriz NIO.

cargada y paga por la electricidad consumida. La compañía energética es la encargada de comprar y cargar las baterías, así como de establecer una red de estaciones y cobrar por cada intercambio de baterías<sup>6</sup>.

La compañía automotriz China llamada NIO, ha implementado ampliamente la tecnología de intercambio de baterías, en su país de origen cuenta con más de 1,000 estaciones denominadas Power Swap<sup>7</sup>. La compañía NIO tiene ambiciosos planes para posicionarse en Europa, en la actualidad ha instalado una estación de intercambio en la ciudad de Oslo, Noruega. Su modelo de negocio se basa en la venta de vehículos eléctricos y la renta con el esquema BaaS. Una de las ventajas que tiene este modelo de negocio es que quien posee un vehículo eléctrico no paga la parte más cara, la batería. Solo se paga una suscripción mensual cuyo costo depende de la capacidad de la batería del vehículo, con la ventaja de que quien posee el vehículo siempre utilizará las últimas baterías disponibles en el mercado. Las estaciones de intercambio ya operan en estacionamientos acondicionados, ver figura 4.2

En Japón, las compañías fabricantes de equipos originales (OEM) como Honda Motor, Kawasaki Motors, Suzuki Motors y Yamaha Motors, han creado de manera colectiva la empresa llamada Gachaco Incorporation, cuya misión es asegurar la producción de baterías intercambiables que cumplan los mismos estándares y establecer sistemas de reemplazo efectivos para intercambiar baterías. Esta compañía desarrollará la infraestructura necesaria para proporcionar el servicio BaaS de intercambio de baterías a vehículos eléctricos de dos ruedas (2W, en inglés), de esta manera se da solución a uno de los mayores obstáculos para la adopción generalizada de vehículos eléctricos en Japón. El objetivo de la compañía es fabricar baterías intercambiables de uso mutuo que puedan intercambiarse en los vehículos eléctricos de dos ruedas producidos por las empresas que conforman el consorcio<sup>9</sup>.

<sup>6</sup>Aneja y Bansal 2021.

<sup>7</sup>Ingram 2022.

<sup>8</sup>Fotografía tomada de [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/79/NIO\\_Power\\_Battery\\_Swap.jpg/2048px-NIO\\_Power\\_Battery\\_Swap.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/79/NIO_Power_Battery_Swap.jpg/2048px-NIO_Power_Battery_Swap.jpg).

<sup>9</sup>Ramanujam 2022.



En los Estados Unidos, en el estado de California la *start-up* llamada Ample, ha producido módulos de baterías que pueden manejar paquetes de baterías de diferentes automóviles y estaciones de intercambio de bajo costo. Las baterías se pueden acoplar a distintos vehículos y eliminan el requisito de tener un paquete de baterías estándar. La compañía Ample ha establecido un trato con la empresa de servicio de transporte Uber, la idea es proveer de baterías intercambiables a los vehículos eléctricos. Actualmente Ample opera 5 estaciones de intercambio de baterías ubicadas en el área de la bahía de San Francisco específicamente para vehículos de Uber que utilizan vehículos eléctricos de la marca Nissan (modelo Leaf) y de la marca KIA.<sup>10</sup>

Las tendencias globales marcan al intercambio de baterías como una nueva solución para solventar los problemas de carga prevalientes de la movilidad eléctrica. Al sustituir las baterías descargadas con baterías cargadas se brinda flexibilidad para recargar baterías por separado. El modelo “BaaS” se basa en la compra del vehículo eléctrico sin la batería, de esta forma se incentiva la adquisición de vehículos eléctricos, ya que se reduce significativamente su costo, y se elimina uno de los mayores obstáculos para la adopción masiva de los vehículos eléctricos; sus elevados costos, en comparación con los costos de los vehículos de combustión interna.

Desde el punto de vista económico, la tecnología de intercambio de baterías representa una excelente oportunidad, ya que la fabricación y suministro de baterías, así como la creación de estaciones de intercambio, y disposición adecuada para reciclaje o segundo uso de las baterías son áreas lucrativas de inversión interesantes en contextos nacionales o extranjeros.

Cabe mencionar que para que esta tecnología sea empleada de manera masiva es necesaria la estandarización de los diseños en los paquetes de baterías de los vehículos eléctricos. Quizás esta sea la mayor barrera para la adopción a gran escala de esta tecnología en el formato de transporte individual. Esto puede ser un desafío en la actualidad ya que quien fabrica mantiene el diseño de su paquete de baterías como propiedad intelectual y diferenciación entre sí. Actualmente los paquetes de baterías de los vehículos eléctricos tienen características de diseño distintas dependiendo de la marca, es de vital importancia la paridad en cuanto al diseño de los paquetes de baterías (dimensiones, peso, etc). Las acciones encaminadas a estandarizar los sistemas de baterías podrían contribuir a que la adopción de los vehículos eléctricos tuviera un mayor crecimiento y la transición hacia una movilidad eléctrica se acelere considerablemente.

Contemporary Amperex Technology Co., Limited (CATL), es la empresa proveedora de baterías más grande de la industria, recientemente anunció la creación de su propia versión de intercambio de baterías. Es difícil imaginar que las empresas de baterías estén dispuestas a unirse y aceptar uno o varios tipos de paquetes de baterías para que sean intercambiables, pero cada vez son más las flotas comerciales que adoptan ampliamente esta tecnología con gran éxito. Según el reporte de IDTechEx en el futuro se ven algunas aplicaciones prometedoras para el intercambio de baterías dentro del segmento de camiones eléctricos pesados (Electric Heavy Truck EHT por sus siglas en inglés) y vehículos de construcción donde se logra una alta eficiencia operativa mediante el uso del intercambio<sup>11</sup>.

Es muy importante resaltar que el uso de estaciones de intercambio para vehículos de dos o tres ruedas abre la oportunidad a modelos de negocios para pequeñas y medianas empresas.

También resulta relevante enfatizar que las estaciones de intercambio de baterías para vehículos pesados (autobuses y camiones) abre la perspectiva de negocios para quien posee las compañías de transporte o para compañías grandes que deseen incursionar o modificar sus esquemas de negocios en energía.

Algunas acciones que pueden impulsar el intercambio de baterías son: Ofrecer flexibilidad a los usuarios de vehículos eléctricos al desarrollar el intercambio de baterías como una alternativa a las instalaciones de carga que toman mayor tiempo para suministrar de energía al vehículo eléctrico.

---

<sup>10</sup>Gemes 2022.

<sup>11</sup>IDTechEx 2022.

Fomentar la cooperación entre varios actores del mercado, como proveedores de baterías, OEM de baterías, OEM de vehículos eléctricos, instituciones crediticias, etc. Al desarrollar estos nuevos ecosistemas que puede proporcionar servicios integrados a una diversidad de clientela en el amplio sector de la movilidad eléctrica.

Pasemos ahora a dar ejemplos en detalle de modelos de negocios para transitar a la electromovilidad.



# Capítulo 5

## Ejemplos de negocios en electromovilidad



En este capítulo presentaremos algunos ejemplos de acciones emprendidas en diferentes lugares en el mundo que nos han parecido relevantes. Estos ejemplos nos servirán para ilustrar y discutir las metodologías para los proyectos pilotos de electromovilidad en México, considerando una situación postpetróleo.

### 5.1. Francia

Francia se encuentra entre los países con una de las tasas de penetración de la movilidad eléctrica más altas del mundo. Desde 2012, su flota de coches eléctricos se ha multiplicado por más de diez y supera con creces las 100,000 matriculaciones. Con cerca de 30,000 terminales disponibles, la tasa de

cobertura nacional es de las más altas de Europa: alrededor de 1 punto de recarga cada 7 vehículos<sup>1</sup>.

Avere-France (la asociación nacional para el desarrollo de la movilidad eléctrica) creada en 1979 para representar todo el ecosistema de la electromovilidad en los ámbitos industrial, comercial, institucional o asociativo tiene como objetivo promover el uso de vehículos híbridos eléctricos y recargables. En 2021 Avere-France enfatizó que los resultados son muy positivos. Se han matriculado 315.978 vehículos eléctricos, tanto particulares como utilitarios, el desglose es el siguiente: se vendieron 174,191 EV y 141,787 PHEV. Estas cifras presentan un aumento del 62 % respecto a 2020 y del 355 % respecto a 2019. Los vehículos eléctricos también han conquistado un 15 % de cuota de mercado, es decir, más que en 2020 (9.5 %) y 2019 (2.6 %)<sup>2</sup>.

Según Avere-France, actualmente circulan en suelo francés 786,271 coches eléctricos e híbridos. Por lo tanto, Francia está en camino de lograr su objetivo de alcanzar 1 millón de vehículos eléctricos en circulación. Otro punto de satisfacción es el aumento del número de puntos de recarga instalados en Francia; había 53,667 a finales de 2021, lo que representó un aumento del 64 % en un año, y si sumamos las estaciones de carga privadas, se estima que esta cifra alcanzaría los 700,000<sup>3</sup>.

Estas cifras muestran que el éxito es global, la creación de Avere-France es un acierto mayúsculo, pues es una asociación/organismo/dependencia en la que descansa de forma global la transición a la electromovilidad en toda Francia.

En su estructura se aprecia una participación conjunta del sector privado y del sector público, y la participación activa de diversas comunidades. Son responsables del desarrollo de programas para la implementación de estructura en Francia, cuentan con manuales y estrategias de implementación de electromovilidad en distintas escalas y propósitos. El centralizar el tema de transición a la electromovilidad de un país, pero con escucha de las comunidades, en una “asociación nacional” parece un acierto porque deja de ser un tema dependiente de proyectos aislados y distantes espacial y temporalmente permitiendo poner pies y cabeza; además de facilitar una coordinación territorial más ordenada.

## 5.2. Corea del Sur

En la ciudad de Pohang, en Corea del Sur, se ha implementado<sup>4</sup> un sistema de transporte público que utiliza autobuses eléctricos que cuentan con un banco de baterías en la parte superior (techo) del autobús. El sistema está compuesto por tres elementos; el autobús eléctrico con el mecanismo de intercambio de baterías en la parte superior, una estación de intercambio de baterías y un robot para realizar el cambio de las baterías. El proyecto ha iniciado con tres autobuses eléctricos y dos estaciones de intercambio; la ruta del autobús fue cuidadosamente seleccionada dentro de la ciudad para reproducir las condiciones de conducción típicas del centro de la ciudad. Una característica única del autobús es el sistema de intercambio de batería ubicado en el techo. La puerta del techo se desliza y abre el área de acceso para facilitar el intercambio de las baterías. Este montaje garantiza la alineación del paquete de baterías con el robot que intercambia mediante un mecanismo de sujeción para los paquetes de baterías intercambiables. El mecanismo de puerta deslizable está especialmente diseñado para evitar la filtración de agua de lluvia o nieve, ya que su geometría guía al agua de la lluvia hacia los orificios de drenaje para proteger a las baterías.

El robot de cambio de batería y la estación de almacenamiento se establecen en determinados lugares a lo largo de la ruta del servicio de autobús. Así, el vehículo eléctrico equipado con el mecanismo de cambio de batería recorre las rutas designadas. La distancia entre las estaciones de intercambio

---

<sup>1</sup>Renault Group 2020.

<sup>2</sup>Avere-France 2023.

<sup>3</sup>Ibíd.

<sup>4</sup>Kim, Song y Choi 2015.

está calculada para evitar que se agote la batería y sea reemplazada por una completamente cargada. La logística implica que se notificará a quien conduce para que visite la estación de intercambio de baterías para obtener una batería completamente cargada. La batería descargada del vehículo eléctrico se recargará en la estación de intercambio de baterías, utilizando una política de carga de baterías cuidadosamente programada para evitar una posible sobrecarga del sistema de red eléctrica existente en la ciudad.

Con este enfoque integrado, los autobuses eléctricos con el sistema de intercambio de baterías pueden optimizarse para rutas de autobús específicas, y las ubicaciones adecuadas de las estaciones de intercambio de baterías pueden optimizarse para garantizar un funcionamiento sin problemas del servicio.

### 5.3. Brasil

En la ciudad de Fortaleza, región Noreste de Brasil, se propuso el primer programa de e-carsharing en ese país. La iniciativa VAMO (Vehículos Alternativos para Movilidad) comenzó en 2016 en el Ayuntamiento de Fortaleza contando con un apoyo gubernamental moderado<sup>5</sup> teniendo el papel de una emprendedora institucional, que se refiere a las actividades de quienes tienen interés en acuerdos entre instituciones y particulares para aprovechar los recursos naturales o sociales. Según Rechene et al.<sup>6</sup>, el emprendimiento institucional funciona incentivando la introducción de la lógica de vehículos compartidos, que puede incluir bicicletas compartidas y automóviles compartidos, por ejemplo. Este documento implanta una perspectiva a largo plazo para entender y compartir los impactos de los esquemas de e-carsharing en las economías emergentes, que aún es escasa en la literatura.<sup>7</sup>

La VAMO ofrece 20 coches eléctricos, distribuidos en 12 estaciones por la ciudad, lugar en que se pueden retirar y devolver los vehículos. Cada estación cuenta con cuatro cargadores, en los que los coches se conectan cuando no están en uso. Entre las ventajas presentadas están la sustentabilidad, ya que el 100% de los coches utilizados son eléctricos, la disponibilidad de más plazas de aparcamiento, ya que cada coche compartido sustituye el uso de al menos 6 coches particulares y la integración como demás modales de transporte. La tarifa para uso del sistema es cobrada de acuerdo con el tiempo de utilización del vehículo, existiendo planes mensuales, más atractivos para clientes frecuentes. Los coches eléctricos pueden ser retirados todos los días, de las 5:00 a las 23:59 h. La devolución se puede hacer las 24 horas del día. Con el enfoque en el estímulo a la cultura del compartir, la VAMO posee un modelo operacional simple que es capaz de ofrecer ventajas para quien lo usa, para la movilidad y para el medio ambiente. Al avanzar hacia la movilidad sustentable, el modelo de negocio de economía colaborativa surge como una práctica destacada que puede contribuir enormemente en esta transición. Este proyecto investiga los impactos de un esquema de *e-carsharing* en las emisiones de carbono y en la adopción de vehículos eléctricos.

### 5.4. Colombia

Desde el 2018, Colombia ha impulsado la transición hacia modos de transporte más sustentables. Estos cambios se reflejan en el crecimiento de flotillas de autobuses eléctricos para el transporte. La ciudad de Bogotá tiene más de 8 millones de habitantes y presenta graves problemas de contaminación del aire asociados al uso de vehículos de combustión interna. Como respuesta a esta problemática, el

---

<sup>5</sup>Cohen y Shaheen 2016.

<sup>6</sup>Rechene, Silva y Campos 2018.

<sup>7</sup>Luna, Uriona-Maldonado y Vaz 2020.

Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) tomó la decisión de electrificar su flota de autobuses que, anteriormente, utilizaba motores diésel anticuados y muy contaminantes<sup>8</sup>. En Abril del 2022 se integraron 406 autobuses eléctricos nuevos, de la marca china Build Your Dreams (BYD), al sistema de transporte público de la ciudad, incrementando el total de la flota de autobuses eléctricos a 1061. El cambio a la movilidad eléctrica en Bogotá es motivado por la necesidad de mejorar la calidad del aire en la ciudad y la conciencia de la situación climática en la actualidad<sup>9</sup>.

La compañía Enel es la responsable de suministrar la infraestructura de recarga, ha implementado 412 cargadores dispuestos en seis terminales, que pueden dar servicio a 878 autobuses eléctricos<sup>10</sup>. El tiempo estimado de carga de estos vehículos eléctricos es de cuatro horas, si el suministro se realiza de forma individual, toma aproximadamente dos horas. Para la construcción del sistema se realizó una inversión aproximada de 60 mil millones de pesos colombianos en equipamiento y 15 mil millones de pesos colombianos adicionales en infraestructura y redes<sup>11</sup>.

Esta transición se origina en la política implementada por el gobierno mediante el ministerio de transporte. La Ley de Promoción de Vehículos Eléctricos, establece que las ciudades que cuenten con sistemas de transporte masivo deberán implementar políticas públicas y acciones tendientes a garantizar que un porcentaje de los automotores utilizados para la operación de las flotas sean eléctricos o de cero emisiones contaminantes, cuando se pretenda aumentar la capacidad transportadora de los sistemas. Cuando se requiera reemplazar un vehículo por destrucción total o parcial que imposibilite su utilización o reparación y cuando finalice su vida útil y requiera reemplazarse, también serán eléctricos o de cero emisiones. Dicha ley contempla diversos incentivos como descuentos en el registro o impuesto vehicular, 10% de descuento en el seguro obligatorio de accidentes de tránsito, tarifas preferenciales en estacionamientos y exenciones tributarias<sup>12</sup>.

Las alianzas público-privadas entre el gobierno de la ciudad de Bogotá, la compañía Enel, la empresa de autobuses de la ciudad Transmilenio y la empresa constructora de vehículos eléctricos BYD, fueron claves para desarrollar el proyecto de electromovilidad.

## 5.5. Perú

Otra ciudad que está haciendo esfuerzos para transitar hacia la movilidad eléctrica colectiva es la ciudad de Lima, en Perú. La ciudad de Lima se ha planteado el objetivo de disminuir en 30% su huella de carbono para el año 2030. Una de las medidas tomadas para alcanzar ese objetivo es la electrificación del transporte público<sup>13</sup>. En el año 2020 se introdujo el primer autobús eléctrico el cual tiene una capacidad para transportar 80 pasajeros, 12 metros de largo, una autonomía de 340 km y un tiempo de carga de 4 horas<sup>14</sup>. El vehículo circula por las calles de Lima sin emitir gases contaminantes de ningún tipo y ayuda a difundir entre la población la cultura de la movilidad eléctrica. Además, proporciona información sobre los ahorros por los bajos costos de mantenimiento en comparación con sus predecesores de diésel o gas natural. El autobús que circula en Lima es utilizado para recabar información importante en tiempo real sobre su funcionamiento, rendimiento de la batería, velocidad e impacto ambiental, con la finalidad de crear un informe de réplica que sirva de guía para el gobierno Peruano en la electrificación del transporte público de todo el país<sup>15</sup>. El proyecto fue desarrollado

---

<sup>8</sup>Enel Corporate 2022a.

<sup>9</sup>Villegas 2022.

<sup>10</sup>Enel Corporate 2022a.

<sup>11</sup>González 2022.

<sup>12</sup>Cluster de energía eléctrica Bogotá 2019.

<sup>13</sup>Enel Corporate 2022b.

<sup>14</sup>Ibíd.

<sup>15</sup>Enel 2022.

por las compañías Global Sustainable Electricity Partnership (GSEP), Hydro-Québec y Enel, y está gestionado por el Grupo Allin, uno de los operadores locales de la autoridad de transporte público de Lima, Protransporte.<sup>16</sup>

## 5.6. México

Actualmente la ciudad de México cuenta con 50 autobuses eléctricos en la línea 3 del metrobús, la cual es la mayor flotilla de autobuses eléctricos articulados de América Latina. La flotilla está compuesta por 60 autobuses eléctricos cero emisiones, que dejarán de emitir 7,500 toneladas de dióxido de carbono al año, el equivalente a plantar 45,000 árboles<sup>17</sup>. Los autobuses manufacturados por la compañía china Yutong pueden transportar hasta 160 pasajeros, están equipados con baterías de litio hierro fosfato y tienen una autonomía de 330 km. La electrificación de la línea 3 comenzó en el 2020 cuando la compañía Mobility ADO, concesionaria de la línea 3 adquirió 10 autobuses eléctricos. Para desarrollar el proyecto fue necesario un financiamiento de la banca privada Santander, la inversión total de la flotilla eléctrica fue de \$900 millones de pesos mexicanos, alrededor de \$49 millones de USD. La empresa de energía ENEL supervisó la instalación de los 25 centros de carga instalados en la estación Júpiter y la Comisión Federal de Electricidad se encargó del incremento de la potencia y del suministro de energía eléctrica<sup>18</sup>.

## 5.7. Chile

Con 7 millones de personas, Santiago de Chile es una de las zonas metropolitanas más grandes de Sudamérica, concentrando casi el 40 % de su población total y una densidad poblacional de casi 10 mil personas por kilómetro cuadrado. En la década de los 90 ya consolidada como una de las capitales más grandes de Sudamérica, comenzaron a monitorear la contaminación del aire, regular las emisiones del sector transporte e integrar los sistemas de transporte bajo una autoridad pública.

En 2018 fue la primera ciudad en Latinoamérica en adoptar los estándares de emisiones EURO IV para sistemas de transporte, visualizando un escenario de autobuses eléctricos. Para marzo de 2020 contaba con una flota de 600 autobuses Euro VI y más de 400 autobuses eléctricos. La ciudad tiene el objetivo de la electrificación completa de la flota para 2035.

Previo a 2007 se realizó una reforma importante en materia de transporte, reestructurando su sistema de transporte. En 2012 la red de transporte TranSantiago contaba con 2,766 km de red, 6,298 autobuses, 374 rutas y pudiendo transportar 642,964 pasajeros. Para 2018 la red había crecido a 2,946 km, con una flota de 6,756, 380 rutas y transportando 690,654 pasajeros. Entonces incorporando apenas 6 rutas nuevas, pero casi 500 autobuses se logró atender a 50 mil usuarios más, diariamente.

En noviembre del 2017 Metbus (operador privado en Santiago) se alió con ENEL para incorporar autobuses BYD K9FE y operar en forma regular el transporte público en Santiago. En su primer año de servicio cubrió 105 mil km movilizandando 350 mil personas. Con un costo de operación de 0.1 \$/km basado en un precio de 0.1 \$/kWh y un consumo de 1,006 kWh/km, en comparación con un autobús diésel, considerando un consumo de 0.5 litro/km y costo de 0.86 \$/litro, el costo de operación sería de 1.72 \$/km<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup>Enel Corporate 2022b.

<sup>17</sup>González 2023.

<sup>18</sup>Mares 2023.

<sup>19</sup>Sebastián Galarza 2020.



Como resultado de esta prueba piloto, Metbus en alianza con BYD y ENEL escalaron la operación a 100 unidades en 2019. ENEL X actúa como el agente financiero que los proveerá de autobuses por 10 años brindando el mantenimiento básico necesario. BYD se encargará del mantenimiento mayor, los paquetes de baterías y la transmisión eléctrica. Se estima que este acuerdo tendrá un costo de 40 mdd en autobuses, y 3 mdd para infraestructura; también se consideran los cargadores y la energía eléctrica consumida donde ENEL y Metbus certifican que esta energía sea de generación renovable y con un descuento del 40% al precio comercial.

También en 2017 ENGIE y Gildemeister introdujeron un Yutong E12 y, de la misma manera, en 2018 anunciaron que incrementaron la flota a 100 autobuses eléctricos de baterías. El acuerdo tendrá un costo de 30 mdd, además incluirá el mantenimiento y desarrollo de infraestructura así como las baterías y cargadores.

Y es de esta manera que Santiago de Chile ha podido expandir su flota a 411 autobuses eléctricos (año del reporte). Para julio de 2020 contaban con 780.

Desde entonces, más de 1,500 autobuses eléctricos circulan por las calles de la ciudad de Santiago de Chile, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> en un total de 161,000 toneladas, convirtiéndose en la flota de autobuses eléctricos más grande fuera de China.

# Capítulo 6

## Proyectos pilotos de electromovilidad por intercambio de baterías



---

En este capítulo presentaremos brevemente una metodología para promover la transición hacia la electromovilidad en el transporte público. Así como una guía para la selección, caracterización y evaluación de los proyectos piloto de electromovilidad. Retomaremos las opciones de intercambio de baterías y analizaremos en detalle modelos de operación de estas opciones.

## 6.1. Estaciones de intercambio de baterías y su relación con los vehículos eléctricos

En la presente sección se analizarán de manera breve las problemáticas del sector transporte a nivel global, el estancamiento de los EV en su competencia con los vehículos de combustión interna y el retorno del modelo de negocios donde la batería del vehículo es la oferta del servicio.

Dentro de las maneras para reducir las emisiones de carbono por los vehículos, se encuentra la electrificación del transporte como una de las medidas más efectivas. Con el incremento de la conciencia social sobre la importancia del uso eficiente de la energía y la protección del ambiente, los EV presentan un papel vital para mejorar la calidad del aire, gracias a sus características de cero emisiones y usando electricidad en lugar de combustibles fósiles<sup>1</sup>. Sin embargo, al haber cada vez más entidades usuarias de los EV se ha revelado uno de los mayores cuellos de botella que restringen su desarrollo<sup>2</sup>, el tiempo de carga, ya que no basta con incrementar la capacidad de las baterías y reducir el tiempo de carga en las estaciones para poder cubrir una demanda creciente. Esto es especialmente relevante si se busca la electromovilidad de todo el sector transporte. Es necesario ver la situación desde otra perspectiva, otros modelos de negocio y operación: comenzando por una administración inteligente de la energía hasta ver la carga de la batería de los EV como un servicio, lo que se conoce como el modelo Battery-as-a-Service (BaaS), que implica el intercambio de baterías de los EV.

El concepto de intercambio de baterías de un vehículo no es algo nuevo, entre 1910 y 1924 la compañía Hartford Electric Light Company, una subsidiaria de General Electric, implementó el modelo BaaS, sus clientes adquirían un vehículo de la General Vehicle Company (GeVeCo) y la energía la podían adquirir de Hartford Electric mediante un servicio de intercambio de baterías con un pago flexible de recargos por millas, junto a un servicio de mantenimiento mensual. En 1917 un servicio similar fue operado por los vehículos eléctricos de Milburn Light en Chicago, y en 1970 Mercedes puso a prueba una flotilla de 40 furgonetas con baterías intercambiables, pero se concluyó que la tecnología, para ese entonces, aún no estaba lista, debido a que el rango de autonomía seguía siendo deficiente<sup>3</sup> además de que estas tecnologías no podían competir con el uso amplio y el mercado que abarcaron los vehículos basados en la combustión interna de combustible fósil. A inicios de la década pasada, Better Place y Tesla intentaron retomar el modelo BaaS, pero debido a la dificultad de entrada al mercado, el auge, en ese entonces de los EV con carga rápida, y falta de interés de las entidades usuarias sus proyectos fueron abandonados. Sin embargo, tras un cambio de enfoque, más hacia los vehículos de dos y tres ruedas, fue que compañías como Gogoro y Voi resolvieron el problema de autonomía de estos vehículos y crearon a su vez un sistema que atrajo a entidades usuarias y finalmente ha abierto las puertas del mercado actual nuevamente al modelo BaaS. El intercambio de batería y los modelos de energía como servicio no son nuevos; pero actualmente, dadas las circunstancias ambientales, el impulso tecnológico y la apropiación social de la tecnología, es que las baterías intercambiables para la electromovilidad se encuentran dando pasos agigantados en el mercado, teniendo en China uno de los casos de mayor apropiación de la tecnología puesto que además de ser activamente promocionado por el gobierno, las compañías como NIO, Geely, CATL o Aulton New Energy Automotive Technology también incentivan el desarrollo de este modelo para la manufactura de EV junto con el modelo BaaS<sup>4</sup>. Mientras que en el sector de transporte público los autobuses eléctricos de baterías intercambiables se encuentran implementados en algunas ciudades piloto dentro de China, Corea e India, donde se ha mostrado una clara disminución de emisiones de carbono al ambiente.

---

<sup>1</sup>Muneer et al. 2015.

<sup>2</sup>C. Zhang y Chen 2021.

<sup>3</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

<sup>4</sup>Ibíd.

### 6.1.1. Problemáticas del sector de transporte actual

Con el constante ritmo de crecimiento de la urbanización y la población alrededor del mundo, se ha incrementado la demanda de transporte público, y mientras la demanda se había estado satisfaciendo por medio de los vehículos de combustión interna basados en combustibles fósiles, esto ha llevado a un impacto negativo en el ambiente, especialmente en países en desarrollo donde la demanda de transporte y dependencia fósil tiene tendencia a incrementar. El sector transporte se posiciona como uno de los principales contribuidores de los daños antropogénicos al ambiente, pues la dominancia de los vehículos con Motores de Combustión Interna (ICV) junto a una alta carga de vehículos privados en las calles son, actualmente, algunas de las principales problemáticas que necesitan ser atendidas de manera inmediata para poder mitigar los cambios climáticos antropogénicos y evitar sus consecuentes catástrofes<sup>5</sup>.

Es por esto que es indispensable generar acciones decisivas respecto a la sustentabilidad y una eficaz transición hacia fuentes de energías sustentables y sin ese impacto de emisiones de carbono de los vehículos ICV en todos los sectores de la economía, incluyendo los sectores de energía y transporte<sup>6</sup>. Debido al alto consumo de energía del sector transporte, la atención se ha enfocado en avances tecnológicos en electrificación para reducir las emisiones de carbono y alcanzar así las metas climáticas del acuerdo de París. La entrada comercial de los EV abre las puertas a un avance para la descarbonización de los sectores de generación de energía eléctrica y de los medios de transporte. De acuerdo al Centro de Investigación de Energía Solar e Hidrógeno (ZSW)<sup>7</sup>, al inicio del 2019 se encontraban 5.6 millones de EV en circulación a lo largo del mundo, siendo China y USA los mercados más grandes con 2.6 y 1.1 millones de EV respectivamente. Por lo que, de acuerdo al crecimiento de la tecnología, el desarrollo de la electromovilidad es un punto clave para poder alcanzar un transporte sustentable y cumplir con las metas de reducción de huellas de carbono.

Actualmente, se ha estado tratando el problema mediante la electrificación directa de los vehículos, pero esto ha traído consigo nuevos retos tecnológicos. Incluso aún con los avances que se han logrado en los últimos años respecto al almacenamiento de energía en las baterías de los EV y la tecnología e infraestructura para su recarga, un punto clave que concierne al mercado es el tiempo que las baterías necesitan para recargarse y su relativa limitación en la distancia a recorrer en un viaje. Esto comparando con la mayor independencia que tienen actualmente los vehículos ICV. Además de las preocupaciones acerca del desgaste de las baterías y el alto costo que implica el cambio de un vehículo de combustión interna a uno de batería eléctrica<sup>8</sup>.

### 6.1.2. Limitaciones de las estaciones de recarga convencionales

A pesar de los avances significativos en cuanto al desarrollo de baterías, tecnología de recarga y de estructura, los EV convencionales aún parecen estar lejos de competir contra la velocidad en que son despachados los vehículos de combustión interna en las gasolineras. Un EV necesita de un mayor tiempo de recarga en las electrolineras, pues aún al cargar las baterías ultrarrápidas se necesita de un mínimo de 20 minutos para recargar. Además estas cargas ultrarrápidas pueden reducir rápidamente la vida útil de las baterías, por lo que ha sido necesario buscar nuevas alternativas y modelos de mercado para enfocar la solución de esta problemática y lograr así un producto capaz de convivir y competir con el sistema de diésel y gasolina que domina el mercado actual.

---

<sup>5</sup>Vilathgamuwa et al. 2022.

<sup>6</sup>Ibíd.

<sup>7</sup>IRENA 2019.

<sup>8</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

La electrificación del transporte de carretera tiene, a su vez, sus propias limitantes. Sin ir más lejos, se necesita ampliar la autonomía y reducir la cantidad de veces que se tiene que acudir a recargar baterías dejando cargado el vehículo en una electrolinera. Mientras para los vehículos pequeños de pasajeros no es un gran problema, para aquellos vehículos que necesitan recorrer grandes distancias representa un problema enorme<sup>9</sup>. Los EV necesitan de una mayor accesibilidad hacia las baterías y que a su vez se pueda garantizar su durabilidad.

Tan sólo respecto a las estaciones de carga se pueden observar sus ventajas y desventajas en el cuadro 1 a continuación, donde se realizó una comparación de los 3 modelos de recarga actuales, tomando en cuenta las nuevas Estaciones de Carga e Intercambio de Baterías (BCSS) o simplemente llamadas Estaciones de Intercambio de Baterías (*Battery Swapping Station* por sus siglas en inglés BSS), usando como guía la tabla de Zhang y Chen<sup>10</sup>:

Modelo de carga	Duración	Ventajas	Desventajas
AC carga lenta	8-15 h	Bajo costo, baja dificultad técnica	Tiempos de carga largos
DC carga rápida	0.5-1.5 h	Tiempo de carga corto	Baja seguridad de cargado, alta dificultad técnica, disminución de vida útil de la batería rápidamente
BCSS (Estaciones de carga e intercambio de baterías)	Alrededor de 10 minutos (máximo)	Corto tiempo de espera en la obtención de una batería cargada, gran seguridad	Para autobuses es necesario la implementación de brazos robóticos para el intercambio de baterías, aún no se estandarizan los modelos de baterías

Tabla 6.1: Modelos actuales de carga de batería de EV y sus ventajas y desventajas.

Al tener en cuenta que los sistemas más convencionales para obtener una batería recargada son los AC de carga lenta y DC de carga rápida, se puede observar una clara desventaja, en las AC de carga lenta se conserva mejor la vida útil de las baterías pero se sacrifica el tiempo de carga por periodos extensos, por lo que en una electrolinera de este tipo no se pueden recargar un gran cantidad de vehículos al día por la limitación de espacio. En las estaciones DC de carga rápida se puede obtener una batería cargada en mucho menor tiempo, pero todavía no es un tiempo competitivo con el que un vehículo ICV ocupa al visitar una gasolinera convencional. Además las constantes cargas rápidas suelen disminuir la vida útil del vehículo, lo cual es un punto bastante desfavorable dados los altos precios de las baterías actualmente. Finalmente, las estaciones de carga e intercambio de baterías ofrecen un corto tiempo respecto a la obtención de una batería recargada y dado que en las estaciones pueden apilarse varias a la vez, la cantidad de EV despachados cada día puede ser mayor, sin embargo, las baterías de los EV aún no se encuentran en un estándar universal por lo que el alcance de una estación depende de las alianzas y consorcios presentes entre las empresas de manufactura de vehículos, de operación de las estaciones y de oferta del servicio.

Se espera que en el futuro cercano, las empresas de manufactura de baterías generen un estándar universal respecto a los módulos de baterías tanto en las dimensiones y estructura de montaje, como en sus conexiones eléctricas. Y aunque tal vez no puedan ser completamente estandarizadas las características internas como la capacidad, el voltaje o los sistemas de manejo, los sistemas inteligentes de los vehículos pueden adaptarse fácilmente a ello. También se espera que con el paso del tiempo las estaciones actuales que dan servicio de carga de gasolina se vayan transformando en centros de carga para los EV con instalaciones para intercambiar baterías de vehículos pequeños, medianos y grandes, y que en caso de vehículos grandes se utilicen mayor cantidad de baterías modulares<sup>11</sup>.

<sup>9</sup>Vallera, Nunes y Brito 2021.

<sup>10</sup>C. Zhang y Chen 2021.

<sup>11</sup>Vallera, Nunes y Brito 2021.

### 6.1.3. ¿Por qué necesitamos tecnología de intercambio de baterías?

Actualmente, aún con los avances alcanzados en cuanto a tecnología de almacenamiento en las baterías y el tiempo de carga de los EV, se continúa con incertidumbre respecto a la mejora de las tecnologías (incremento en densidad) y a la reducción de costos a largo plazo<sup>12</sup>. Es por esto que el modelo BaaS aparece con una opción muy interesante para solucionar estos problemas, ya que al complementar la carga convencional, permite el intercambio de los paquetes de baterías de uno descargado a uno que se encuentra cargado en cuestión de minutos y hay modelos de negocio que permiten comprar el vehículo sin el costo de la batería, lo que representa alrededor del 30 % de su costo. Esto posibilita el tener un plan que se ajuste a las necesidades de consumo sin tener que preocuparse por el desgaste de la batería, pues es la empresa la que se encarga de mantenerlas en estado óptimo, de manera que el modelo BaaS cubre algunos de los problemas que conciernen a las entidades usuarias de los EV: el tiempo de carga y el alto costo de las baterías.

El modelo BaaS promete la solución de estos problemas mediante la implementación de sistemas de carga convencionales que no exijan una carga ultra rápida a las baterías que disminuya su vida útil; además permite, en conjunto de una red inteligente, intercambiar las baterías de manera eficiente para sus ciclos de carga, y todo en cuestión de minutos<sup>13</sup>.

Si se adopta el modelo de Intercambio de Baterías (BCSS) se podrían presentar cambios drásticos necesarios respecto a la movilidad y a los sistemas de energía. Principalmente si se permite al transporte de carretera que usualmente demanda entre 20-25 % de la futura demanda eléctrica, a convertirse en una carga completamente flexible, los sistemas de energía podrían requerir una menor inversión en cuanto a la conexión internacional para la compra de energía a otros países (respecto a los requerimientos energéticos de electrificar el transporte por medio de los modelos de carga convencional), en cuanto a los sistemas de almacenamiento, e inclusive en la capacidad de generación de energía (gracias a la alta eficiencia y al impulso de la generación por fuentes renovables), de manera que el modelo de BS podría trasladarse en los precios más bajos de electricidad. Por su parte, al desvincular la carga de las baterías del uso del vehículo, las cargas rápidas se vuelven innecesarias, lo que representa una ventaja tanto para quienes operan las estaciones como para los sistemas eléctricos de potencia; permite la electrificación de transportes pesados de largas distancias y acelera el proceso de descarbonización ya que recargar el vehículo sería tan simple y rápido como los sistemas actuales<sup>14</sup>.

Si se tiene un modelo BS de desacoplo del vehículo, las estaciones se conectan a la red, se obtiene un sistema amortiguador de energía de alta capacidad que permita satisfacer la demanda de alta movilidad de gran potencia, alta capacidad de almacenamiento y carga del sistema completamente flexible. Además los servicios de balance bidireccional pueden implementarse fácilmente sin presentar una degradación significativa de la batería.

A continuación se presentan sintetizadas algunas de las oportunidades de implementación tecnológica, ventajas y desventajas, que presenta el modelo BS integrado a la red con Energías Renovables (ER) tales como paneles solares fotovoltaicos y generadores eólicos, retomadas del trabajo “Why we need battery swapping technology” de Vallera et al.<sup>15</sup>.

En la tabla 6.1.3 se puede observar que las oportunidades tecnológicas y económicas de la implementación de fuentes renovables en una Estación de Intercambio de Batería son:

1. El almacenamiento de las baterías permite una mayor capacidad de almacenamiento a corto

---

<sup>12</sup>IRENA 2019.

<sup>13</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

<sup>14</sup>Vallera, Nunes y Brito 2021.

<sup>15</sup>Ibid.

Oportunidades de implementación de ER	Oportunidades económicas
Otorga capacidad adicional de almacenamiento. Resuelve el problema de desbalance energético de algunas ER .	Aumentan las oportunidades económicas. La implementación en conjunta de una BSS y fuentes de ER reducen los costos del sistema.

Tabla 6.2: Oportunidades de la implementación de un sistema de Intercambio de Batería con ER.

plazo en el sistema, el cual puede ser utilizado para exportar energía a la red en horas pico solares.

2. Gracias a la capacidad de almacenamiento de las baterías que son almacenadas en las estaciones se puede dar un balance más adecuado al sistema de ER sin necesidad de tener que acudir a restricciones o sistemas de almacenamiento adicionales. Las baterías toman y regresan energía al sistema de manera dinámica para una operación de la manera más eficiente.
3. La implementación de fuentes de ER aumenta las oportunidades económicas del proyecto al aportar un ahorro respecto a la compra de energía y dando la posibilidad de inclusive vender energía a la red.

Estos tres puntos en conjunto ayudan a la reducción de los costos del sistema y a aumentar los beneficios, tanto sociales como económicos, del proyecto a largo plazo.

Ventajas	Desventajas
Flexibilidad energética para todo el sector transporte. Alta eficiencia energética.	La conexión se debe restringir a las baterías en estado de carga y no las ya recargadas con el fin de cuidar el ciclo de vida de las mismas.

Tabla 6.3: Ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de Intercambio de Batería con ER.

De la tabla 6.1.3 podemos ver entre las ventajas lo siguiente:

1. Flexibilidad energética para todo el sector transporte. Los tiempos de importación y exportación de energía no se ven atados a los picos de sobre generación o baja demanda.
2. Alta eficiencia energética. Se incrementa la esperanza de vida útil de las baterías al contar con cargas inteligentes de baterías en un medio controlado.

Mientras que en las desventajas se muestra la siguiente cuestión:

1. Disminución del ciclo de vida de las baterías al mantener un estado de descarga promedio del 5 % de la capacidad total por la conexión de la batería a la red. Para poder resolver este problema es necesario que las baterías recién insertadas en el ciclo de carga sean suministradas de energía por aquellas baterías que ya se encuentren en estado de carga y no de las que se encuentren completamente recargadas, las baterías completamente recargadas deben priorizar su uso para los EV que las requieran, no en cargar otras baterías.

La gran cantidad de ventajas que aporta un sistema de intercambio de baterías incita a la maduración tecnológica del modelo, permite una aceleración de la electrificación del sistema de transporte con alcance a todo tipo de vehículos, inclusive de los vehículos pesados de larga distancia, además de apoyar significativamente con la descarbonización de los sistemas de energía actuales y permitir un mejor balance energético en las redes.

## 6.2. Funcionamiento de las estaciones de intercambio de baterías

Las Estaciones de Intercambio de Baterías representan un nuevo modelo de suministro de energía para los EV. Se diferencian de las Estaciones de Carga de Batería convencionales (BCS, Battery Charging Station) al tener preparadas las baterías para los EV de antemano para que al ingresar el vehículo pueda intercambiar su batería con una carga baja por una batería cargada en un corto tiempo. De esta manera, un EV con batería intercambiable puede pasar a la estación, depositar su batería y salir con una batería cargada en un lapso de 3 a 4 minutos, lo equivalente a una carga de combustible en una gasolinera para un vehículo de combustible fósil<sup>16</sup>.

### 6.2.1. Tipos de BSS implementadas actualmente

En esta subsección describimos los diferentes tipos de BSS que se han implementado.

#### Baterías intercambiables en vehículos de dos a tres ruedas.

En los vehículos de dos y tres ruedas las baterías son acopladas debajo del asiento y pesan un aproximado de 10 a 15 kg, por lo que no es necesaria la intervención de brazos mecánicos para realizar el intercambio de batería, lo cual representa un ahorro significativo respecto a los costos de infraestructura iniciales a la hora de construir las estaciones de intercambio.



Figura 6.1: Fotografías del intercambio y posición de las baterías en vehículos de dos ruedas. A la izquierda se observa la marca Gogoro<sup>19</sup>, a la derecha Tycorun<sup>20</sup>.

Las baterías para los vehículos de dos y tres ruedas son cargadas en torres de carga. En estas torres las baterías sirven, simultáneamente, como soporte de almacenamiento de energía eléctrica, proporcionando apoyo para cargar las baterías descargadas durante las horas pico de demanda energética, proporcionando un ahorro económico. Algunos modelos han implementado paneles solares en sus techos para complementar su carga y conexión a la red eléctrica<sup>21</sup>, representando una reducción de gastos importantes en comparación con la compra de energía eléctrica realizada por medios convencionales de carga.

<sup>16</sup>Yang et al. 2014.

<sup>21</sup>Tulpule et al. 2013.





Figura 6.2: Estación de carga de baterías de Gachaco en Japón<sup>24</sup> y Gogoro en Taiwán<sup>25</sup>.

Las estaciones de carga para estas baterías de 10-15 kg presentan un diseño con una inclinación en sus ranuras para facilitar el almacenaje y que las mismas sean sencillas de insertar o remover. Al momento en que la batería se coloca en su sitio dentro de la estación de carga se envía información sobre su estado a la red inteligente que administra la estación e inicia automáticamente su proceso de recarga.

Los tipos de servicio de las estaciones de intercambio de batería se dividen en aquellas que brindan un completo autoservicio, mientras que otras se encuentran con personal auxiliar para realizar los intercambios. La decisión sobre los modelos a implementar queda en la empresa de operación.

### Baterías intercambiables en vehículos pequeños de pasajeros

Los automóviles con baterías intercambiables han presentado la tendencia de colocar sus baterías por debajo del chasis, de manera que, al situarse en la estación de intercambio la batería pueda colocarse desde una compuerta inferior con la asistencia de un brazo mecánico.



Figura 6.3: Estación de intercambio de EVOGO<sup>28</sup> a la izquierda y a la derecha se observa la posición del paquete de baterías para intercambiar en una estación de INFRAmobility-Dianba ubicada en Berlín, Alemania<sup>29</sup>.

Las estaciones, como es posible observar en la figura 6.3, consisten en cabinas donde se asegura el correcto posicionamiento del automóvil además de brindar todas las medidas de seguridad necesarias para garantizar el correcto ensamblaje de la batería y del cuidado de las mismas.

Las ventajas de este modelo son su rápido servicio, entre 1 a 4 minutos en promedio, y la densidad de carga recibida en el mismo, pues otorga autonomía y despacho de energía para el vehículo equivalente en tiempo a los sistemas de recarga de combustibles de los vehículos ICV, con lo que la transición y adopción de la tecnología por parte de las entidades usuarias se realiza de manera rápida y sencilla.

### Baterías intercambiables en autobuses y camiones pesados.

En el caso de los vehículos de gran tamaño, ya sea de transporte urbano o de transporte comercial, se presentan diversas maneras de llevar a cabo la electrificación del sector y en el caso del intercambio de baterías, del sitio donde colocar las baterías, que por el gran tamaño y fuerza requerida por el vehículo suelen utilizar paquetes de baterías y no un módulo único como en otros vehículos de menor tamaño. Empresas como: NIO, INFRADianba, Aulton New Energy Automotive Technology, Geely, por nombrar algunas, han optado por colocar las baterías debajo del chasis, mientras que otras empresas, como BatterySmart o Tycorun, han colocado las baterías al costado del vehículo, CATL ha optado directamente por colocar en los trailer las baterías detrás de los asientos de las personas operarias<sup>30</sup>; y finalmente, nos encontramos con los casos de Mercedes Benz y Edison Motors que presentan modelos de autobuses con intercambio de baterías cuyos paquetes de baterías intercambiables se encuentran en el techo del vehículo.

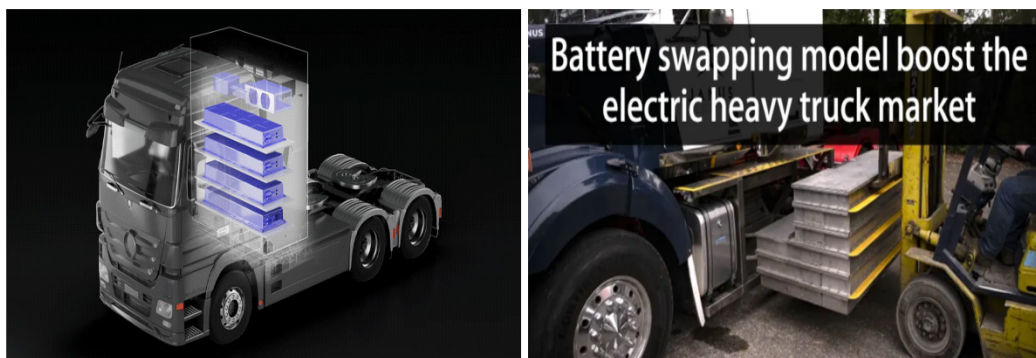


Figura 6.4: Tecnología de BS para trailers de CATL MTB y trailer de Tycorun<sup>31</sup>.

Las estaciones de servicio de intercambio de batería para los vehículos pesados suelen localizarse en terminales específicas y, al igual que con los vehículos de pasajeros, es necesaria la implementación de brazos robóticos para poder realizar el intercambio de los módulos de baterías.

El sector de transporte público urbano es uno de los que tienen el mayor potencial de beneficios respecto a la adopción del sistema BaaS, pues reduce hasta un 85 % el costo de la compra de fuente energética del vehículo por km recorrido respecto a los combustibles fósiles<sup>32</sup>. Además de que la electrificación del sector representa un descenso importante respecto a la emisión de gases contaminantes, pues el sector transporte a nivel mundial aporta el 64 % de gases de efecto invernadero<sup>33</sup>.

<sup>30</sup>Electric Mobility 2022.

<sup>32</sup>Propfe et al. 2012.

<sup>33</sup>Méndez et al. 2018.

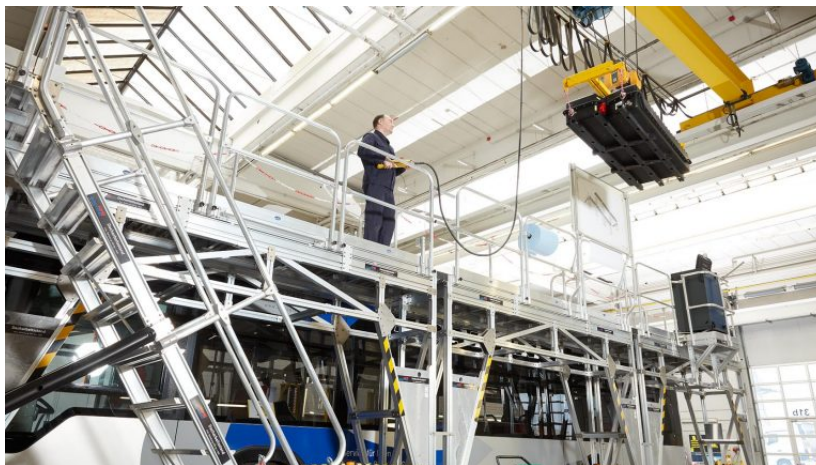


Figura 6.5: Estación de intercambio de baterías para los autobuses eCitaro de OMNI-plus y Mercedes Benz<sup>35</sup>.

### 6.3. El intercambio de baterías como modelo de negocio

Si bien, a inicios de la década pasada Better Place y Tesla intentaron reinsertar el modelo BS en los EV, sus programas terminaron siendo abandonados ya que la tendencia del momento se concentró en el desarrollo de cargas rápidas, tecnología que, como ya se ha mencionado anteriormente, ha “tocado techo” y alcanzado un punto importante respecto a sus limitaciones y su alcance con éstas. Sin embargo, fue en 2014<sup>36</sup> cuando NIO, una compañía China recién fundada, presentó una nuevo enfoque respecto a la tecnología BS: el modelo BaaS, el cual adaptó a las necesidades actuales del sector transporte eléctrico.

Se trata de un modelo BaaS en el que una persona compra su vehículo asumiendo únicamente el costo del cuerpo del vehículo excluyendo el precio de la batería, lo que corresponde usualmente entre un 30-40 % del costo total de un vehículo<sup>37</sup>. Así para tener acceso a una batería para el vehículo se tendrá que suscribir a una empresa con la que el vehículo tenga compatibilidad de baterías para alquilar la batería del vehículo; ya sea pagando únicamente la energía utilizada, un plan de uso mensual ilimitado o, en caso de las empresas de transporte, un plan de uso comercial para autobuses. Este modelo permite conseguir un EV a un costo más accesible y no tener que preocuparse por el mantenimiento de su batería, pues de esto se encargará la empresa que presta el servicio. Las empresas con servicios del modelo BaaS permiten elegir el plan de suscripción que mejor se adapte a las necesidades de uso de la batería, encontrando planes de suscripción mensual o anual y permitiendo inclusive que se elija entre baterías de diferentes capacidades<sup>38</sup>.

El modelo BaaS de NIO presentaba una reducción del costo de adquisición de un EV hasta casi un 50 % y procuró un servicio mensual para todas las unidades usuarias. Su gran éxito fue logrado gracias a los diversos apoyos y subsidios a la tecnología que el propio gobierno les facilitó, pues los ministros de información y tecnología de China mostraron interés y se comprometieron con el desarrollo de la

---

<sup>36</sup>NIO 2014.

<sup>37</sup>Jeju 2020.

<sup>38</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

tecnología.

Actualmente en Asia y algunos países de Europa se ha comenzado a adoptar el modelo BaaS como estrategia para la electromovilidad del sector transporte, abarcando desde vehículos pequeños como *scooter* eléctricos y motocicletas; medianos como automóviles de dos y cuatro puertas; hasta flotillas de transporte público y privado como lo son furgonetas, autobuses e inclusive camiones de carga. Sin embargo, de las implementaciones del modelo BaaS a lo largo del mundo se han encontrado diversas necesidades clave para que la entrada del modelo al mercado pueda realizarse de la mejor manera posible. A continuación se detallarán estas necesidades.

### 6.3.1. Necesidades para la entrada de un modelo BaaS

Como primera necesidad se encuentra el apoyo gubernamental sobre las políticas públicas en materia tecnológica para poder normar los estándares sobre dimensiones, conexión eléctrica e inserción mecánica que puedan ser aceptables para las industrias interesadas. Se toma esto como primer punto debido a que la falta de estandarización tanto de las dimensiones de las baterías como de las capacidades de las mismas es una de las barreras principales para el desarrollo y despliegue a gran escala de la tecnología. Para poder iniciar un modelo BaaS es necesario que las baterías con las que se trabaje sigan un estándar, de lo contrario, la complejidad de la diversidad de capacidades y tamaño no sólo limitaría el número de EV que podrían ser atendidos en cada estación, si no que también limitarían a las comunidades usuarias para utilizar únicamente un tipo de estaciones, en una diversidad de opciones, lo cual limitaría su independencia de movimiento y por tanto una de las ventajas del modelo se perdería.

Otra ventaja con la que cuenta la estandarización de las baterías para el BaaS es que podrán servir para todo tipo de EV, pues aunque se podrían ocupar una gran cantidad de baterías para vehículos pesados como los camiones de carga también se podría formular una categoría de estándares dependiendo del tamaño del vehículo. Esto teniendo en cuenta que no se agrande el número de grupos de estándares, debido a que en las estaciones de carga son las baterías con carga las que se encargan de proporcionar la energía a las baterías en proceso de carga durante los picos de demanda de energía en la red. Esta planeación se simplifica conforme disminuya la variedad de estándares.

Otros de los problemas técnicos que se deben tener en cuenta son<sup>39, 40</sup>:

- Una compleja planeación, operación y gestión del inventario de las baterías. Se debe planear cuidadosamente para asegurar contar con la cantidad necesaria de baterías en los momentos correctos; es decir, tener suficientes baterías listas para las horas pico y no tener una sobreoferta para las horas con bajo flujo de clientes. Todo de acuerdo con el sitio donde se coloque la estación: área rural, área urbana o carretera.
- Se necesita tener en cuenta los efectos ambientales tales como el polvo, la nieve, el agua de lluvia, que puedan entrar en el sistema eléctrico del EV mientras intercambie su batería. Una de las estructuras más conocidas para tratar este problema son las cabinas de intercambio techadas.
- Es necesario continuar con las mejoras de la eficiencia y capacidad de las baterías, además de las tecnologías de recarga.
- El ritmo de transición se puede ver limitado por la disponibilidad y costo de las materias primas como el litio, cobalto, tierras raras o inclusive cobre, y también es necesario que se formulen políticas respecto a estos recursos, además de normas para su reciclaje y retiro.

---

<sup>39</sup>Vallera, Nunes y Brito 2021.

<sup>40</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

- El equipo de carga debe ser optimizado tanto para la demanda energética de las baterías como para las limitaciones de balance de la red.
- La certificación de los equipos es necesaria tanto para su regulación, su buen funcionamiento como para brindar seguridad a las entidades usuarias.
- La tecnología debe ser tan simple de adoptar por las entidades usuarias para que la aceptación sea tan grande como la de los modelos de los vehículos ICV.
- La infraestructura inicial requiere de una fuerte inversión, por lo que se requiere de políticas públicas y subsidios.

De esta manera, podemos observar cómo para la entrada y adopción de la tecnología se encuentran varias barreras para las cuales es necesario que no sólo las empresas de manufactura de vehículos, baterías y estaciones se unan, sino que además los gobiernos formulen leyes respecto a la estandarización de los EV integrados con tecnología BS, formando estándares de diseño, estándares respecto a la seguridad y manejo de las mismas, además de dar apoyo e incentivos a las empresas interesadas en integrarse al modelo de negocio BaaS y que la tecnología resulte atractiva tanto para las empresas como para la comunidad usuaria.

### 6.3.2. Retos de las estructuras de intercambio de baterías y BaaS y cómo China los enfrentó

Como se mencionó anteriormente, uno de los puntos más importantes para la entrada de un modelo de Movilidad como Servicio (MaaS), como lo es el modelo BaaS, en un mercado como el de los EV y la movilidad urbana, es la necesidad de establecer un estándar respecto a la manufacturación y características, tanto de dimensiones como de carga para las baterías. En China la estandarización en el desarrollo de las baterías es un paso obligatorio para su avance además del impulso a la compra de los vehículos mediante subsidios por parte del gobierno<sup>41</sup>.

Respecto a la estandarización, primero se consideran especificaciones en el ámbito de los requerimientos de seguridad, métodos de testeo y reglas de inspección específicas para los EV de baterías intercambiables. Por ejemplo, el gobierno chino en 2021 aprobó el mandato de Estándar Nacional para los Requerimientos de Seguridad en los EV con Intercambio de Batería. Dicho mandato ha sido el primero a nivel industrial por parte un gobierno respecto al desarrollo del modelo de intercambio de baterías. Bajo este mandato las grandes compañías de manufactura en China aplican sus pruebas de testeo e inspecciones de seguridad<sup>42</sup>. Y su Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (MIIT) ha propuesto una serie de estándares para los sistemas de intercambio de baterías en los ámbitos de<sup>43</sup>:

Intercambiabilidad en el camino de vehículos puramente eléctricos: comerciales, automóviles y de pasajeros con sistema de intercambio de baterías:

- Comunicación del vehículo con el paquete de baterías.
- Paquete de baterías intercambiables.
- Mecanismo de intercambio de baterías.
- Conector de refrigeración de las baterías intercambiables.

---

<sup>41</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

<sup>42</sup>ChEVPos 2021.

<sup>43</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

- Comunicación entre el paquete de baterías y la planta.
- Paquete de baterías.
- Vehículo.
- Comunicación entre el vehículo y el centro de operaciones.

Lo que nos brinda esta información es la relevancia que tiene la publicación de normas gubernamentales para la estandarización de manufactura de vehículos y de infraestructura de las estaciones de carga e intercambio de baterías.

### 6.3.3. Integración de autobuses con batería eléctrica intercambiable, casos de estudio

Siguiendo la tendencia por conseguir mayor independencia de las fuentes combustibles a partir del petróleo, se han desarrollado y puesto a prueba varios sistemas para la introducción de los EV en el transporte. A continuación, mencionaremos algunos casos específicos respecto a la implementación de autobuses eléctricos que funcionan con un sistema BS y que han sido implementados en el mundo real, además, de mencionar sus particularidades con la finalidad de conocer los puntos que han permitido su éxito en el sitio donde se ubicaron.

#### Isla Jeju y Pohang, Corea del Sur

Gracias al apoyo y subsidios del gobierno para la construcción y mantenimiento de las estaciones de transporte público en Jeju, en 2015 se introdujeron un total de 23 autobuses con capacidad de 50 pasajeros a lo largo de 6 rutas regulares. La configuración actual del sistema requiere de brazos robóticos que intercambien la batería en la estación, dando un sistema completamente automatizado y un intercambio que demora únicamente 40 segundos en realizarse<sup>44</sup>. La característica velocidad de intercambio en la estación junto al uso de las baterías en la estación como un pequeño sistema de almacenamiento de energía utilizable para la gestión energética en los picos de demanda, representan la mayor ventaja de la estación.

Respecto al diseño del autobús, se trata de un modelo Edison Motors eFibird que cuenta con dos paquetes dobles de baterías de litio, (162 celdas en serie y cuatro corrientes en paralelo) que al conectarse proporcionan un voltaje de 607.5 V y 80 A, ubicadas en el techo del vehículo, figura (6.6), las cuales permiten que al llegar a la estación de intercambio se deslice la cubierta y se intercambien rápidamente las baterías.

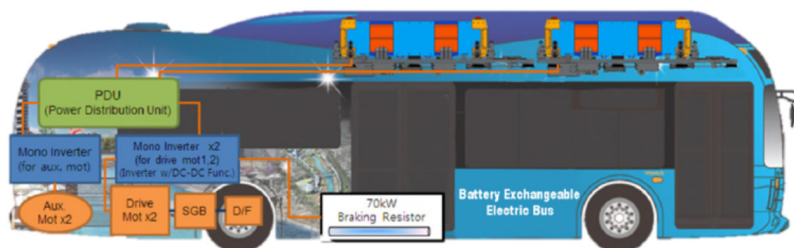


Figura 6.6: Montaje en el techo de los paquetes de baterías intercambiables.

<sup>44</sup>Kim, Song y Choi 2015.

En la estación las baterías son colocadas sobre rieles para su facilidad de operación (figura 6.7). Los rieles permiten una operación rápida del intercambio de baterías.

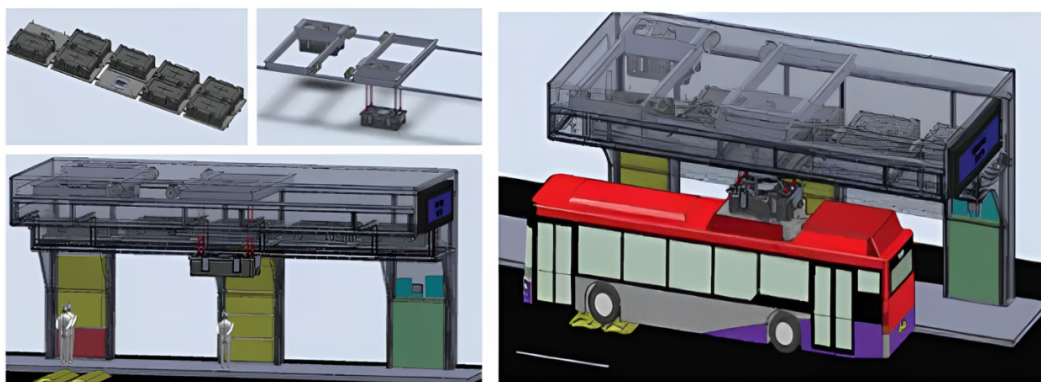


Figura 6.7: Disposición de las baterías en la estación de intercambio<sup>45</sup>.

Para la obtención de las baterías de las unidades, se realiza la renta de estas mediante el modelo BaaS. De manera que se los autobuses son adquiridos sin tener que pagar por el precio de la batería, significando un ahorro del 40 % del costo total. Estas baterías son alquiladas a una compañía de alquiler que se encarga del mantenimiento y recarga de las baterías, por lo que los costos de mantenimiento de las baterías son cubiertos por la empresa BaaS y no por la empresa encargada de la operación de los autobuses.

Adicionalmente, el subsidio otorgado por el gobierno para los autobuses con sistema BS se basa de acuerdo al nivel de desempeño de los autobuses<sup>46</sup>.

## Ahmedabad, India

Debido a la alta concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente de las grandes ciudades de la India, el gobierno de ese país comenzó a apostar por la electromovilidad tanto de vehículos de dos y tres ruedas, los más usados en sus ciudades como del transporte público<sup>47</sup>. A continuación se muestra el caso de la ciudad de Ahmedabad, donde en 2019 entraron diferentes flotas de EV en el transporte público, de entre estas se destacó la entrada de 18 autobuses con baterías intercambiables que se ubican realizando recorridos en rutas circulares cortas de 40 km. En este caso, se optó por realizar recorridos más cortos con la cantidad necesaria de baterías para poder completar dichas rutas cortas con la finalidad de poder llevar una mayor cantidad de pasajeros. Las baterías se colocaron debajo del chasis, y no detrás de los primeros asientos del autobús, como se pensaba aplicar originalmente, para evitar obstaculizar la vista de la persona que opera el autobús.

Debido al sitio donde se colocaron las baterías fue necesario aumentar la altura del autobús usando llantas de 275/70 R 22.5, de manera que se aumentó la altura del autobús sin tener que tener que realizar una elevación de los asientos internos ubicados sobre las llantas.

<sup>46</sup>Jeju 2020.

<sup>47</sup>Hossain, Hasan y Khan 2022.



Figura 6.8: Autobús eléctrico de baterías intercambiables en Ahmedabad<sup>48</sup>.

El intercambio de baterías tiene lugar en la estación con el apoyo de brazos mecánicos, figura 6.8, que intercambian el paquete de baterías de 600 kg en un tiempo aproximado de 3 a 4 minutos. En esta estación se mantienen en carga un total de 12 baterías simultáneamente para poder cubrir con la demanda requerida mientras estas mismas funcionan como sistema de almacenamiento de energía.



Figura 6.9: Brazo mecánico que intercambia la batería debajo del chasis del autobús.

La operadora de los autobuses “Ahmedabad’s new Bus Rapid Transit System (BRTS)” comparte en sus reportes algunos consejos preliminares y de despliegue para la entrada de un proyecto del estilo, estos se detallan a continuación<sup>49</sup>:

<sup>49</sup>Janmarg 2019.



Consejos preliminares:

- La preparación del proyecto debe acomodarse a las necesidades de una ciudad con el mínimo o nada de experiencia en la tecnología.
- Las pruebas, testeos e iteraciones en las condiciones anteriores serán extensas, pero necesarias para poder brindar el mejor servicio.
- Es necesario tener un subsidio gubernamental debido al alto costo de construcción y operación.
- Las autoridades deben proporcionar la construcción de los bancos de energía y su suplemento.
- La infraestructura de carga eléctrica se debe proporcionar en estaciones de manera operador-fabricante.

Consejos de despliegue:

- La disponibilidad para los espacios designados como estaciones de carga y la creación de la infraestructura eléctrica son retos y costos fuertes.
- El despliegue de varios autobuses eléctricos requieren de una infraestructura de carga y una organización inteligente basada en los siguientes criterios: rango de alcance del autobús, ubicación de estaciones de carga, longitud de las rutas, minimizar los “km muertos” (aquellos en los que no se avanza por la densidad de tráfico), despliegue en rutas de gran visibilidad y ocupación para que su uso muestre con el tiempo un cambio significativo a mejor en la calidad del aire.

Por otra parte, cabe resaltar que Ashok Leyland y SUN Mobility también han realizado una alianza para la implementación del intercambio en autobuses cuyas baterías son recargadas en las estaciones de SUN Mobility<sup>50</sup>. Estas estaciones cuentan con sistemas fotovoltaicos para la generación eléctrica y una manufactura de los vehículos dentro del país por parte de Ashhok Leyland. Esto provoca ahorros económicos y fuente de empleo, por lo que la electromovilidad en la India continúa creciendo a pasos agigantados.

## **Estación Xuejiadao, Provincia de Qingdao, China**

El caso de la estación de Xuejiadao se destaca de las dos anteriores al no presentar rutas cíclicas. Se realizó un diagrama de planeación para las rutas, análisis de demanda y estrategia horaria<sup>51</sup> para calcular la carga que necesitan llevar los autobuses para dar al menos una vuelta completa entre las terminales, más la vuelta a la estación de intercambio, que en este caso no se encuentra en una estación de pasajeros, como se ve en la figura 6.10.

---

<sup>50</sup>MOTORINDIA 2018.

<sup>51</sup>Li et al. 2018.

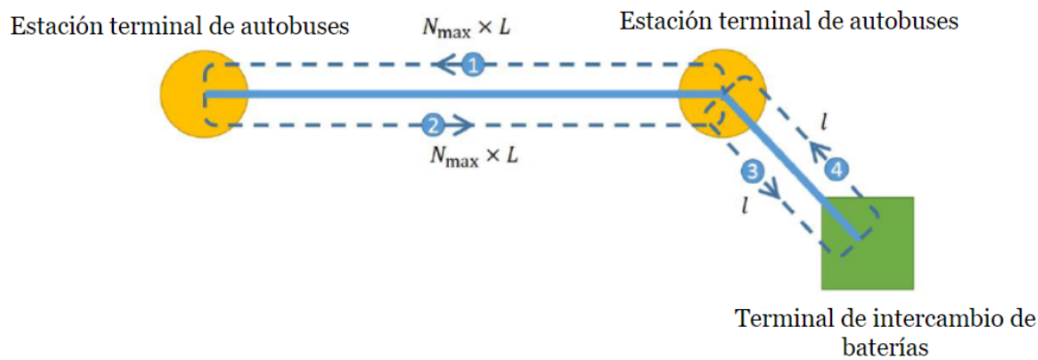


Figura 6.10: Pista de rodaje de los autobuses de Xuejiadao, traducción del trabajo de Wenxiang Li et al. (2018).

Los módulos de batería utilizados por los autobuses se encuentran en la parte posterior a las llantas motrices traseras, y el intercambio de baterías se da en la estación mediante el apoyo de un brazo robótico (figura 6.11).

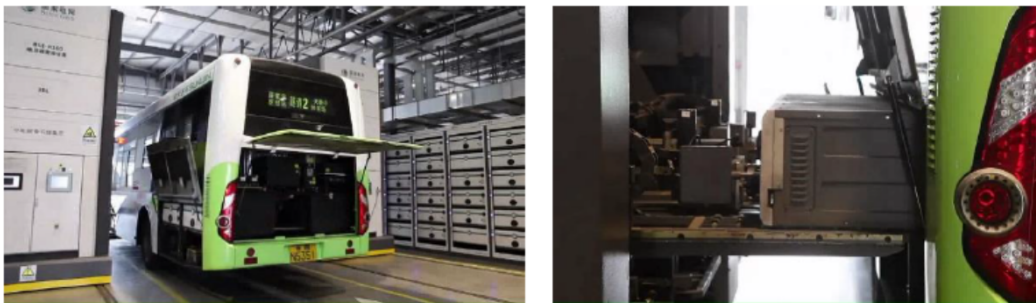


Figura 6.11: Proceso de intercambio de batería del autobús de intercambio de batería.

La implementación de los autobuses de intercambio de batería ha llevado a una reducción significativa de las emisiones de carbono emitidas al ambiente respecto a los transportes CIE, lo cual significa a su vez una ganancia económica y, debido a que la operación del servicio se mantiene como se prestaba anteriormente, las entidades usuarias se han mantenido en constante uso de los autobuses.

Este caso de estudio por Wenxiang Li et al., se enfocó en el análisis de los autobuses y la estación de carga para evaluar su desempeño, además de aportar propuestas para mejorar el rendimiento de las mismas. Las próximas propuestas que buscan con la estación es incrementar la capacidad de almacenamiento de las baterías para poder operar sin necesidad de realizar demasiados intercambios de batería en el día.

### 6.3.4. Beneficios económicos

Mientras que empresas integradas que sigan el modelo BaaS tendrán como mayor inversión la compra y mantenimiento de baterías, la mayor parte de la inversión vendrá por parte de la construcción

de la infraestructura de las estaciones de intercambio. La situación actual de las estaciones de carga e intercambio de batería (BCSS) se encuentra en un punto donde el costo de inversión es alto y la tasa de retorno es lenta, sobretudo para la implementación en sectores públicos. Sin embargo, hay varios factores que se han encontrado para poder analizar los beneficios económicos y de impacto social y ambiental de su implementación. A continuación, se detalla la estructura de relación económica entre los diversos factores que intervienen en la construcción y operación de una BCSS para autobuses de uso público.

En el caso de los modelos de negocio para una estación BCSS de autobuses de transporte público se suele considerar la adquisición de baterías por compañías de alquiler de baterías, para amortiguar el gasto inicial y no tener que estar preocupándose por las baterías y su desgaste. La diferencia es que la adquisición de baterías mediante este modelo puede a su vez realizarse en dos tipos de vertientes, en una en que quien opera la estación y quien provee las baterías se encuentren o no integradas<sup>52</sup>. En caso de que no se encuentren integradas, la estación de recarga e intercambio se convierte en la comunicadora indirecta entre quienes manufacturan y quienes utilizan los EV, sin tener ningún intermediario de costo e ingresos. Estas interacciones en el modelo de negocios se puede resumir como: el modelo en que la empresa que renta las baterías no se encuentra operando la estación, significa que la estación no obtendrá ingresos de la renta de estas, pero tampoco tendrá que preocuparse por problemas de acortamiento de la vida útil de las baterías. En los cuadros visibles en la figura 6.12 y 6.13 se presenta el flujo de información y de dinero en cada vertiente.

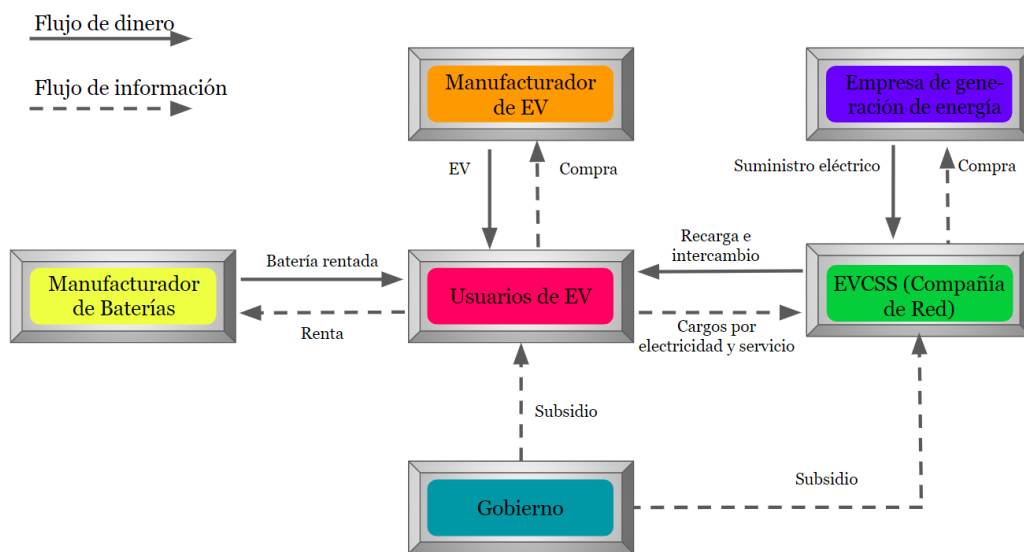


Figura 6.12: Modelo de negocios sin integración directa, traducido del trabajo de Zhang C., Chen P. (2021).

<sup>52</sup>C. Zhang y Chen 2021.

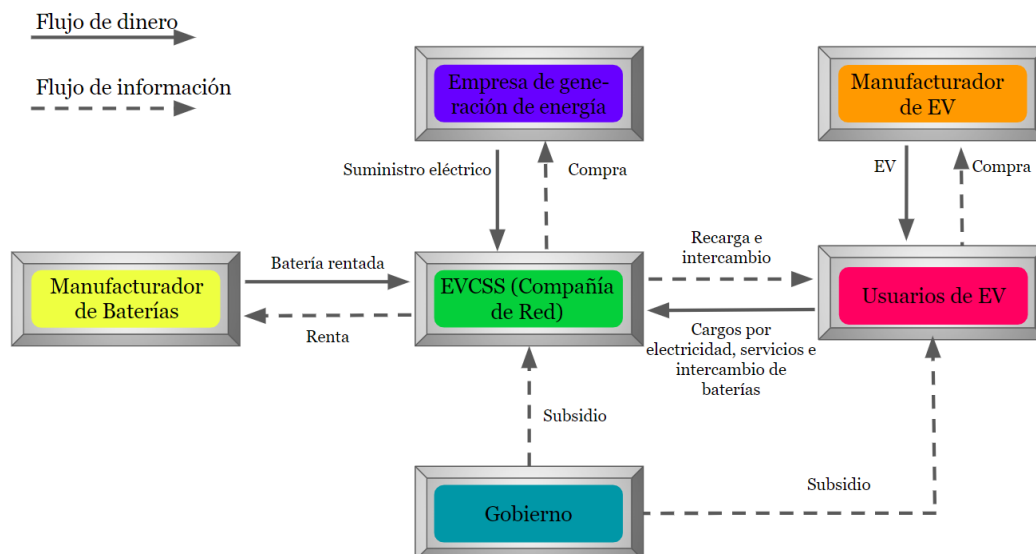


Figura 6.13: Modelo BSS con modelo de negocios integrado, traducido del trabajo de Zhang C., Chen P. (2021).

Una vez puesta la instalación y comenzada la operación, en una estación de carga e intercambio de batería tradicional, el mayor costo es la compra de la electricidad, por lo que es necesario buscar la manera de optimizar tanto el uso como la compra de la energía eléctrica para aumentar las ganancias.

Zhang y Chen<sup>53</sup> presentan tres modelos respecto a la compra de energía:

- El primer modelo: Modelo Actual, en el que se continúa recargando la batería descargada inmediatamente tras completar el intercambio de batería, por lo que el equipo de recarga de estas continúa su labor a lo largo de casi el día entero.
- El segundo modelo: Modelo de cargas gestionando picos y valles energéticos, las baterías intercambiadas se almacenan en un sitio unificado y son cargadas cuando la demanda energética decrece, cargar las baterías cuando el costo de la electricidad es bajo puede llevar a una reducción significativa del costo de operación de la estación.
- El tercer modelo: Modelo de intercambio directo de energía, elimina el ingreso económico por la compañía de redes como un comunicador entre quien compra y quien vende, lo cual reduce el costo de la energía y permite a la estación obtener mejores beneficios.

Sin embargo, también se han comenzado a explorar las posibilidades de que la energía de la estación pueda ser obtenida por medio de sistemas fotovoltaicos<sup>54</sup>. Aunque se incrementa la inversión inicial, se ofrece una gran alternativa al propiciar independencia de los altos precios de energía que pueden ocurrir en el mercado. Zhang y Chen presentan los resultados de una evaluación de su modelo de simulación respecto a la cantidad de emisiones de dióxido de carbono. Estas emisiones se ven reducidas en las rutas de Xuejiadao, si su estación de autobuses con BS sustituye el origen de su fuente de energía eléctrica, de usar plantas convencionales de combustión fósil, a fuentes de energía renovables como son la energía solar o la energía eólica. De este resultado encontraron que:

<sup>53</sup>Ibíd.

<sup>54</sup>Tulpule et al. 2013.

- La reducción de emisiones de carbono mejoraron por 467,140.77 RMB.

Lo cual mejora significativamente los beneficios económicos del proyecto, incrementado el valor actual neto (NPV) del ciclo de vida del proyecto.

### 6.3.5. Indicadores para la evaluación económica de los modelos BCSS para autobuses

Algunos de los indicadores para la evaluación económica de un proyecto de BCSS para los autobuses son: El análisis del costo del ciclo de vida, Análisis de beneficios de un proyecto BCSS y Selección de indicadores de evaluación económica de un proyecto BCSS.

En el caso de los análisis de beneficios se toman en cuenta factores como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la tarifa de servicio y electricidad, valores residuales y los subsidios gubernamentales, por lo que en este indicador se hacen presentes los impactos ambientales y sociales del proyecto; mientras que los indicadores de evaluación económica tienen como ejes centrales el valor presente neto y la razón de retorno interno, presentando así las ganancias sustanciales del proyecto.

Por su parte, para la implementación de un proyecto nuevo, la evaluación económica que mayor impacto tiene es el análisis de costo de vida, pues se evalúan todos los costos integrados en el proyecto desde la construcción, operación y mantenimiento hasta su etapa de retiro. Los análisis de ciclo de vida de un proyecto pueden proveer de información importante a inversionistas que les ayudará a decidir dar luz verde a un proyecto.

En la figura 6.14 se muestra un diagrama respecto al análisis del costo de ciclo de vida de un proyecto. Al enfocarnos en un proyecto de BCSS su análisis del costo de ciclo de vida (LCC) considera: el costo de construcción (CC), el costo de operación (CO) y el costo de retiro (CR). El costo de construcción abarca todo lo que es la inversión inicial: costo de construcción, renta de terrenos, renta de equipo, costo de mano de obra y materiales. Por su parte, el costo de la etapa de operación consta en sí misma de tres partes: costo financiero, determinado por el costo total del proyecto, método de retorno, razón de renta, etc. El costo de operación y mantenimiento, en el que se considera el costo de operación de la estación, así como, los costos para las revisiones y mantenimiento constantes para su funcionamiento adecuado, y el costo de compra de energía (principalmente si no se tiene una integración de ER en el sistema). Finalmente, el costo de etapa de retiro, que se refiere al costo cuando el proyecto debe retirarse pues ya ha alcanzado su expectativa de vida o ya no puede alcanzar los estándares de operación.

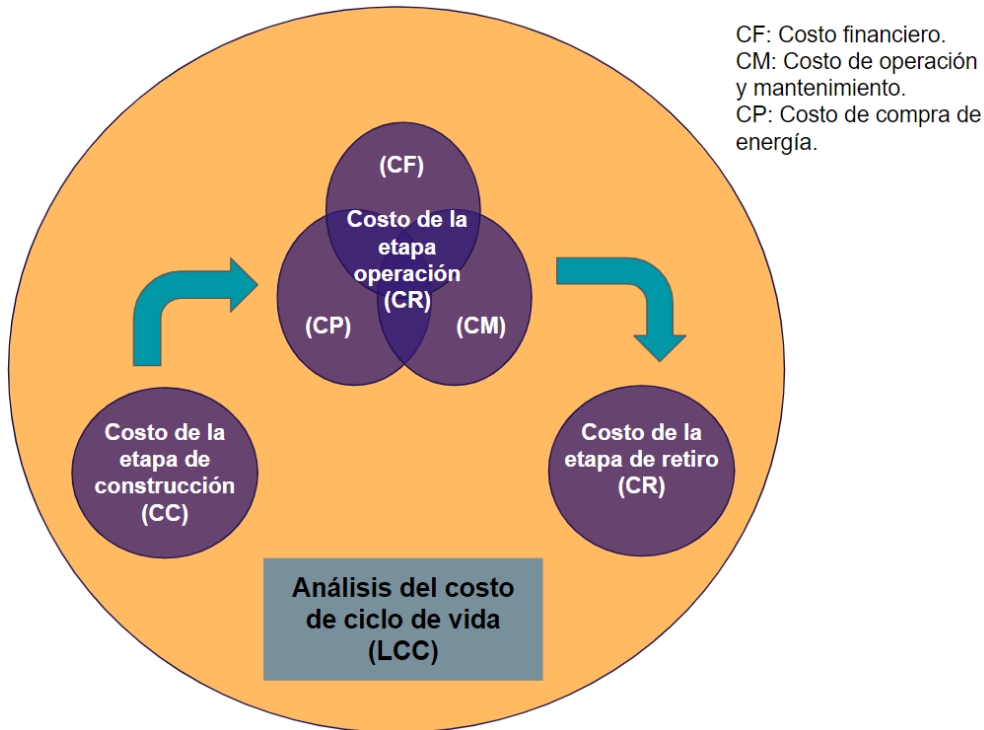


Figura 6.14: Diagrama de los procesos integrados en el análisis del costo de ciclo de vida de un proyecto de BCSS.

La ganancias de un sistema BCSS dentro de un modelo convencional son muy bajas, es necesario el uso de energías renovables, mayores subsidios y reformas al mercado eléctrico. La iniciativa de uso de autobuses eléctricos con baterías intercambiables trae consigo aspectos positivos de alto beneficio ambiental y social, ya que las emisiones de carbono se ven significativamente reducidas. El incremento de la tecnología se debe continuar dando junto con la implementación de fuentes de energías renovables tales como las estaciones de energía por paneles solares fotovoltaicos para que se incrementen más las reducciones de emisiones de carbono y se mejoren los beneficios económicos de los proyectos.

### 6.3.6. Modelos de operación de empresas de éxito, panorama internacional del modelo BaaS

El incremento de la proporción de EV en la carretera sugiere un panorama más diversificado de opciones de carga, para satisfacer mejor la diversidad en la demanda de las comunidades usuarias, se predice que el mercado de la infraestructura de intercambio de baterías y los modelos comerciales de energía relacionados aumentarán significativamente en los próximos años<sup>55</sup>.

<sup>55</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

## China

El caso de China es uno de los más importantes, puesto que gracias al apoyo gubernamental respecto a la generación de incentivos para las entidades usuarias al momento de comprar un EV con batería intercambiable, aprobación de leyes para la estandarización de la tecnología y subsidios a diferentes empresas, se ha posicionado como uno de los mayores impulsores de la electromovilidad a nivel mundial.

El mercado de las baterías intercambiables en China actualmente está siendo impulsado por el gobierno, especialmente en la formación política de soporte técnico, subsidios, programas piloto y emitiendo estatutos para la estandarización en la manufacturación de los EV con batería intercambiable.

China es considerado como el mercado de vehículos más grande del mundo y, en 2020, el presidente Xi Jinping sentó como base de la evolución industrial y seguridad energética de este mercado la electromovilidad. Especialmente se enfocó en la promoción de transportes con tecnologías limpias que mitiguen las emisiones de carbono para sus metas en 2030 y 2060<sup>56</sup>.

China, para 2020, contaba en sus calles con un aproximado de 7.84 millones de Vehículos de Nueva Energía (NEV)<sup>57</sup>, lo que representaba la mitad de toda la población de NEV en todo el mundo. Los proyectos de electromovilidad en China han presentado un importante desarrollo a la tecnología de intercambio de baterías y han logrado un impacto económico importante a nivel nacional, impulsando el crecimiento y desarrollo de la tecnología y economía a pesar del impacto de la pandemia del Covid-19. El número de vehículos en ese país se ha mantenido en un crecimiento constante las últimas décadas, por lo que el sector transporte ha sido un eje de enfoque para la reducción de emisiones contaminantes al ambiente, particularmente en urbes de gran tamaño y densidad poblacional como lo son Beijing, Shanghai, y Guangzhou<sup>58</sup>. La atención que ha dado al sector transporte en urbes de gran y mediana escala ha demostrado ser una de las mejores estrategias para encaminar al sector transporte hacia la electromovilidad<sup>59</sup>. Sin embargo, el constante aumento de vehículos con necesidad de carga generó un cuello de botella que comenzaba a restringir el desarrollo de la electromovilidad, por lo que para cubrir la demanda se aplicó la reforma “Guidelines for the Development of Electric Vehicle Charging Infrastructure (2015-2020)” donde se establece la construcción de 12000 estaciones centralizadas para la carga e intercambio de batería y 4.8 millones de baterías descentralizadas para 2020. Lo anterior para que fuese posible cubrir la demanda de energética de los EV en el país<sup>60</sup>, y que este desarrollo de estaciones de carga y baterías continuase conforme a la madurez tecnológica y demanda del servicio.

El gobierno ha introducido varias políticas con el fin de guiar y apoyar el desarrollo de la industria de las baterías intercambiables. Señalando plazos límite para la implementación de los sistemas de intercambio de baterías, se acelerarán las construcciones de infraestructura necesaria para las estaciones BSS, continuará el incentivo en el desarrollo de la tecnología para que en 2035 la tecnología sea conveniente y eficiente. Con un Plan de Desarrollo para la Industria de NEV (2021-2035) que funciona como una política de alta prioridad, orientadora de inversiones, investigación y desarrollo (R&D), la formulación de las subsecuentes políticas y programas de promoción además de la implementación de los programas piloto. Por lo cual China apunta hacia una promoción activa y como una prioridad el desarrollo de la nueva infraestructura<sup>61</sup>.

Actualmente, cuentan con un subsidio del 10 % para los NEV y promociones de las manufactureras donde señalan el ahorro significativo al comprar un NEV de baterías intercambiables. Este subsidio

---

<sup>56</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.

<sup>57</sup>Automobile Manufacturers 2022.

<sup>58</sup>Q. Zhang et al. 2013.

<sup>59</sup>Muneer et al. 2015.

<sup>60</sup>Juan, Jing y Wang 2018.

<sup>61</sup>Briefing 2020.

incentiva la compra y la apropiación social de la tecnología mediante la promoción de proyectos piloto, tanto en el sector privado como en el público, puesto que entre mejor se integre el mercado a las entidades usuarias mejor será su desempeño.

Respecto a las empresas relacionadas al modelo BaaS en China, estas se separan en 4 categorías: Manufactura de Vehículos, Operadoras de estaciones de intercambio de baterías y oferta de servicios, Compañías de energía y baterías y, finalmente, Compañías de Transporte y Movilidad.

A continuación, se presentan las tablas 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7 con un resumen de funcionamiento de algunas de las empresas en China que han formado alianza para la adopción de la tecnología de manera plena.

Compañías	Funciones que ejercen
Aiways BAIC (Beijing Electric Vehicle Co Ltd) Changan Automobile Co. SAIC Motor Corp. Geely DFPV (Dongfeng Motor Corporation Passenger Vehicle Company) NIO	Desarrollan tecnología para: -Baterías intercambiables. -Vehículos. -Estaciones y centros de operaciones. -Big data. -Promoción pública.  -Crean alianzas o consorcios con empresas que demandan la energía: taxis y autos que prestan servicios de transporte particular o mensajería, del ramo para la estandarización.

Tabla 6.4: Manufactura de Vehículos.

Compañías	Funciones que ejercen
Aulton New Energy Automotive Technology  Blue Park Smart Energy (Beijing) Technology China Tower Corporation Limited Changan Automobile Co.	Construcción estratégica de estaciones de intercambio de baterías e implementación de carga inteligente.

Tabla 6.5: Operadores de estaciones de intercambio de baterías y préstamo de servicios.

Compañías	Funciones que ejercen
CATL (Contemporary Amperex Technology) - EVOGO  Sinopec (China Petrochemical Corp) State Grid EV Service	Compra de baterías intercambiables para las estaciones de las compañías que prestan el servicio y logística. Se encuentran constantes comisiones y tratos con las empresas de manufactura.

Tabla 6.6: Compañías de energía y baterías



Compañías	Funciones que ejercen
Chongqing Taxi Operation Association.  Hellobike	Mediante alianzas con las compañías operadoras de estaciones BSS y las compañías de energía y baterías establecen estaciones de intercambio para los vehículos que proporcionan servicios de transporte y movilidad como los taxis y los vehículos de dos ruedas.

Tabla 6.7: Compañías de Transporte y Movilidad.

## India

La rápida urbanización de sus principales ciudades ha demandado una mayor movilidad respecto al sector transporte, lo que, en conjunto con el uso intensivo de vehículos a combustión interna, han llevado a ciudades como Bangladesh a presentar un promedio anual de concentración de partículas PM 2.5 de  $76.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>62</sup> en el World Air Quality Report 2021, cantidad que representa 50 veces más de lo permitido por la Organización Mundial de la Salud, lo que convierte a Bangladesh en la ciudad más contaminada del mundo.

Por lo cual, al tener en cuenta que en la India el 80% de la contaminación del aire proviene de vehículos de combustión interna, se ha comenzado a tomar una nueva ruta de desarrollo en la que ICV serán reemplazados con EV. A pesar de la falta de infraestructura y políticas adecuadas para lograr la transición, el enfoque para la electromovilidad se ha centrado, además de algunos autobuses de intercambio de baterías, en el potencial de electrificar vehículos de dos y tres ruedas, pues son el medio de transporte más utilizado, siendo percibidos por la población como “el mayor transporte público de las áreas suburbanas”<sup>63</sup>.

Respecto al transporte urbano por flotas de autobuses eléctricos se tiene el caso implementado por *Ahmedabad's new Bus Rapid Transit System* (BRTS), donde para no reducir la capacidad de personas a bordo se colocó una batería de 600 kg bajo el chasis. Primeramente se pensó en quitar dos asientos de pasajeros para colocar ahí las baterías, pero dado la alta demanda de pasajeros y la obstrucción de visión de quien conduce la unidad se decidió por colocar la batería en el chasis. La batería tarda en cambiarse de 3 a 4 minutos en la estación y los tramos se establecieron de 40 km para no tener que implementar más baterías. Cada estación carga 12 baterías a la vez para ir intercambiando con los autobuses.

Por su parte, SUN Mobility, empresa originaria de la India, se encarga de manufacturar baterías intercambiables para vehículos de 2 y 3 ruedas, autobuses eléctricos de baterías inteligentes y peso reducido, y estaciones de cargas para estos con paneles solares para su recarga.

El enfoque que se ha tenido en la India respecto a la integración de la electromovilidad se muestra enfocado a una integración adaptada a las necesidades sociales y económicas del sitio.

## Europa.

En Europa la mayoría de vehículos de transporte tipo autobuses continúan centrándose en EV de carga tradicional. Algunas de las empresas que ofrecen opciones para intercambio de batería son Mercedes Benz y OMNIplus, cuya alianza ofrece a los autobuses eCitaro un servicio de intercambio de baterías en sus estaciones de servicio, además del respectivo mantenimiento tanto al vehículo como a la batería.

<sup>62</sup>IQAir 2021.

<sup>63</sup>Hossain, Hasan y Khan 2022.

En Berlín se encuentra INFRAMobility-Dianba, formada tras una alianza entre Dianba y Aulton una de las empresas líderes en el intercambio de baterías y el modelo BaaS en China. INFRAMobility-Dianba cuenta con una alianza de empresas usuarias de sitios de taxi en Berlín. Esta empresa hace públicas las especificaciones de capacidad y dimensiones de sus baterías con el fin de incentivar a más empresas de manufactura el animarse a trabajar bajo el modelo de intercambio de baterías. Además, sostienen que “mientras el intercambio de baterías sea 10 veces más rápido y su costo sea inclusive la mitad que los EV de carga convencional no habrá problema en que los proyectos de estaciones de BS prevalecerán en el mercado sin problema ni necesidad de subsidio”<sup>64</sup>.

Por otra parte, una de las apuestas en cuanto al modelo BaaS en Europa se encuentra de la mano del transporte interurbano de vehículos pequeños: *e-scooter* y bicicletas eléctricas. La empresa Voi se presenta como uno de los mayores exponentes de este mercado al contar con presencia en UK, Suecia, Francia, España, Italia, Alemania, Dinamarca, Noruega, Finlandia y Países Bajos. En estos países el enfoque se ha dirigido a brindar un servicio de transporte rápido y sencillo de distancias cortas en los centros de las ciudades, con un servicio de renta flexible dirigido principalmente a un público joven. Este servicio ha generado atractivo para turistas que optan por el servicio de electromovilidad de vehículos pequeños para transportarse y conocer los puntos de atracción de las ciudades<sup>65</sup>.

## 6.4. Elementos relevantes para la selección proyectos pilotos

En la actualidad, a pesar de algunos casos de éxito de autobuses eléctricos de baterías intercambiables, la mayoría de la infraestructura de recarga para los EV se ha enfocado en los modelos tradicionales de carga de baterías y principalmente para el consumo del sector privado y los taxis donde la mayor parte de la investigación se centraba en las estaciones de carga y las baterías ultrarrápidas. Ha sido hasta años recientes que se ha vuelto a retomar el modelo de estaciones de intercambio de baterías para los EV, y en el caso de la electrificación del sector transporte para mitigar las emisiones de carbono al ambiente, llegando al punto en que se han propuesto diversos estudios para la planeación y despliegue de flotas de autobuses completamente eléctricos de baterías intercambiables además de retomar el enfoque de las estaciones de carga con implementación de paneles fotovoltaicos que optimicen las capacidades de las estaciones<sup>66</sup>.

De este resurgimiento han salido a la luz diversos planes para la planeación de operaciones de manera técnica, de impacto económico, social y ambiental, además de presentar diversas perspectivas de solución a los problemas presentes a la hora de realizar un proyecto de esta magnitud. A continuación, es presentado un resumen de algunos de estos puntos clave que han sido señalados en diversos proyectos.

### 6.4.1. Planificación de operaciones de una estación de autobuses eléctricos de baterías intercambiables

En 2018 Li W. et al. realizaron un análisis de desempeño y optimización a los sistemas de autobuses de la estación de Xuejiadao, en la provincia de Qingdao, China. Dicho análisis presentó una metodología acerca de la planificación y diseño de las estaciones de intercambio de baterías en el transporte público. A continuación se encuentra una traducción del diagrama de flujo, figura 6.15, y

---

<sup>64</sup>INFRAMobility-Dianba 2023.

<sup>65</sup>Voi 2023.

<sup>66</sup>Mak, Rong y Shen 2013.

la explicación de sus conceptos respecto a los pasos requeridos para poder transformar y operar una flota de autobuses con intercambio de batería<sup>67</sup>.

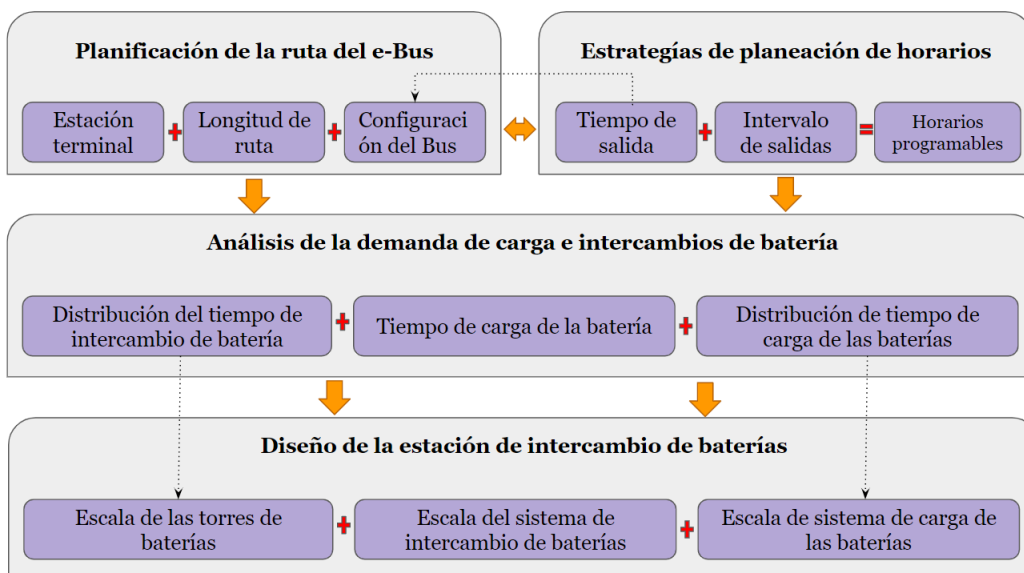


Figura 6.15: Diagrama de flujo para el método de planeación de una estación de autobuses BS (Li W. et al., 2018).

Planificación de las rutas:

- Las nuevas rutas deben planearse acorde a las capacidades de operación del intercambio de baterías.
- Las estaciones de salida o llegada deben ubicarse en un área abierta donde el flujo de pasajeros sea más concentrado, como en la intersección de varias rutas.
- La longitud de la ruta debe planearse para mantener un estado de carga de la batería razonable con un nivel mínimo entre 20 y 30% de la carga para poder llegar a la estación. La misma debe ser lo suficientemente larga para no hacer viajes a la estación de intercambio de batería cada que se complete una vuelta a la ruta, pero a la vez lo suficientemente corta para que las baterías puedan cubrir al menos el viaje de ida y vuelta.
- La configuración de autobuses se refiere al despliegue de unidades necesarias para cubrir la demanda de pasajeros en horas pico.

Estrategias de planeación de horarios:

- Las operaciones de cada día deben dividirse en dos tipos de bloques dependiendo del flujo de pasajeros a lo largo del día: horas pico y horas no pico.
- El intervalo de salidas se decide mediante la capacidad de la ruta de trasladar a los pasajeros de la demanda.

<sup>67</sup>Li et al. 2018.

- Con los datos anteriores es posible calcular un plan de horarios y programar las salidas.

Análisis de la demanda de carga e intercambio de baterías:

- Para este análisis es necesario tomar el tiempo que requiere un intercambio de batería junto con el tiempo itinerado de llegada a la estación por parte del autobús.
- Se debe tener en consideración el tiempo de carga de las baterías para que estén listas para ser intercambiadas.

Diseño de la BSS:

- Una estación consiste en tres sistemas principales: carga de las baterías, intercambio de las baterías y monitoreo. Por lo que un diseño de una estación de intercambio de baterías debe buscar el desempeño que se adecue de mejor manera a las demandas de carga e intercambio y con base en ello incluir las torres de carga, brazos robóticos y baterías necesarias para ello.

Un proyecto de implementación de una Estación de Intercambio de Baterías puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero además de brindar considerables beneficios ambientales, sin embargo, el bajo desempeño económico ha obstaculizado su desarrollo en más países. Es por esto que Zhang y Chen<sup>68</sup> destacan cuatro aspectos de enfoque para atender los problemas que obstaculizan al mercado:

1. Necesidades futuras: utilizando modelos de predicción de demanda para el desarrollo y despliegue de las estaciones de recarga para los EV.
2. Decisión de colocación: en virtud de un modelo de selección basado en un método de toma decisiones con multicriterio con tres indicadores: económico, técnico e impacto social, permitiendo encontrar la posición óptima a la vez que se minimizan los costos totales de las estaciones de recarga.
3. Beneficios económicos: dados el alto costo inicial y el lento retorno de la inversión retrasan el desarrollo de las BSS, sin embargo, el elegir un modelo de “alquiler” de las baterías es un enfoque que apunta a reducir los precios totales de las estaciones en un modelo económico con mejor desempeño.
4. Beneficios ambientales: la búsqueda por la reducción de emisiones de carbono permiten una visión positiva hacia los EV, si a esto se le agrega a su vez estaciones de recarga donde además la energía es obtenida por medio de fuentes renovables, sustentables y limpias, como sistemas fotovoltaicos y eólicos, las emisiones se reducen inclusive hasta en un 90 %<sup>69</sup> respecto a las estaciones de carga convencionales.

Y a su vez, Zhang y Chen<sup>70</sup>, rescatan recomendaciones clave para el éxito de las BSS, tanto para el gobierno, la tecnología de las estaciones y los servicios energéticos integrados:

1. Para el gobierno se recomienda que estén presentes reformas hacia el mecanismo de precios de la energía, el modelo “benchmark” de muchos países no permitiría aprovechar al máximo el potencial económico de las BSS. También se sostiene que los subsidios gubernamentales son un gran apoyo para la etapa inicial de operaciones.

---

<sup>68</sup>C. Zhang y Chen 2021.

<sup>69</sup>Tulpule et al. 2013.

<sup>70</sup>C. Zhang y Chen 2021.

2. Para la tecnología de las estaciones, la mayor recomendación es hacer uso total de energías limpias y renovables, así se reduciría aún más las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, producto de los vehículos tradicionales, sino que también se puede obtener una independencia del precio de mercado de la energía. Exploración de nuevos mercados, no sólo proporcionar servicios a transporte público si no ampliar la oferta de servicios de manera que también se pueda promocionar la tecnología.
  
3. Finalmente, para los servicios energéticos integrados, seguir apostando por la integración de centros de servicios energéticos que estimulen la utilización de energías renovables para los EV.

Algunos puntos importantes respecto al intercambio de baterías como modelo es que no debe ser visto como un reemplazo de los métodos de carga tradicionales, sino como una tecnología complementaria que ayude a diversificar las opciones disponibles tanto para las empresas como para las entidades usuarias. Además es igualmente importante recordar que la integración y alianza de diferentes empresas en un negocio BaaS permite retribuir los costos de inversión y ganancias del proyecto, otorgando así una resiliencia financiera. Finalmente, el adecuado soporte gubernamental en cuanto a medidas normativas y de subsidios que apoyen la electromovilidad aumenta el porcentaje de éxito y adopción tecnológica.

#### **6.4.2. Modelos de rentabilidad de las BSS y BaaS, ecosistema de negocios**

El intercambio de baterías es un modelo de negocios integral en el que se pueden sumar un gran número de empresas para su funcionamiento, lo cual significa un negocio atractivo en alcance. A continuación se puede observar un diagrama de ecosistema de negocios de una empresa encargada de la venta de EV integrada en un sistema BaaS. Teniendo en cuenta lo visto anteriormente en los cuadros donde se mostraba la implicación de diferentes empresas en alianza en China para la adecuada integración del modelo BaaS sobre el papel que desarrollan cada una, en este es posible ver las diferentes correlaciones que llevan las diferentes ramas integradas y los intercambios que tienen entre ellas.

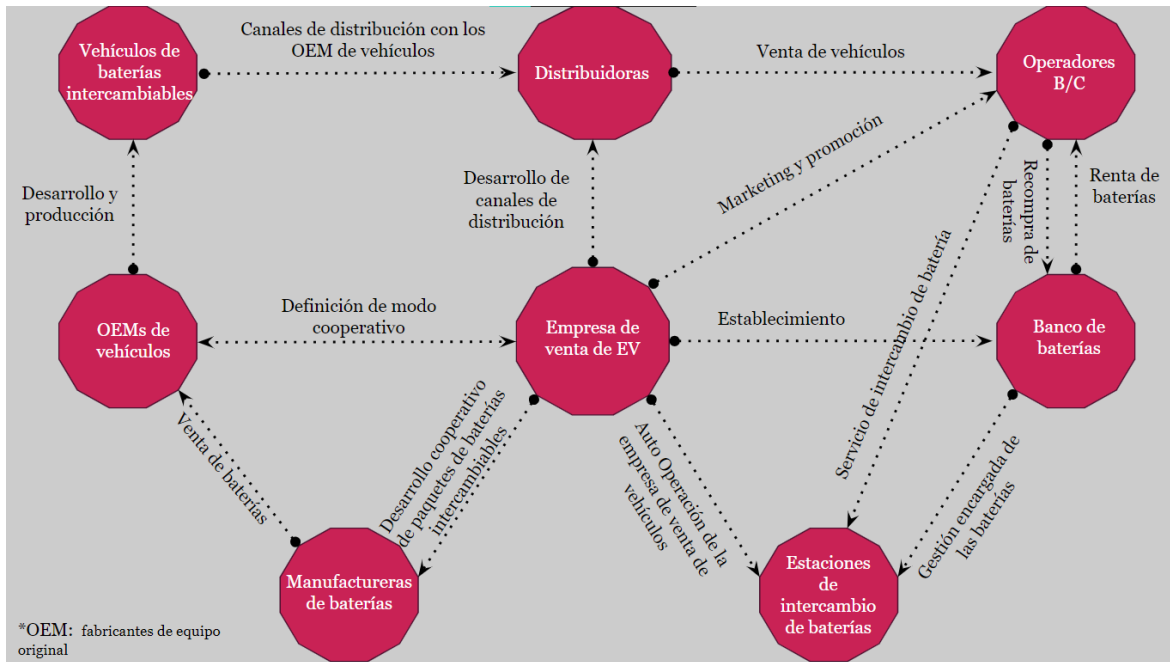


Figura 6.16: Ecosistema de negocio de una empresa de manufactura integrada en un sistema BaaS<sup>72</sup>.

Cabe resaltar que un modelo BaaS no sólo impulsa el desarrollo de venta y distribución, también impulsa fuertemente el desarrollo y maduración tecnológica para el adecuado funcionamiento de los sistemas utilizados, por lo que en un ambiente de negocios favorable el modelo BaaS impulsa económicamente y tecnológicamente los sectores de investigación y desarrollo.

### 6.4.3. Promoción de la tecnología e impacto social

Toda tecnología debe tener como finalidad la prosperidad de la sociedad de manera sustentable, en el caso de la electromovilidad, la introducción de la tecnología debe de realizarse de manera sencilla para las entidades usuarias. El intercambio de baterías y los modelos BaaS presentan en sus operaciones similitudes respecto a los sistemas de carga de combustibles tradicionales a los que se han especializado las estructuras actuales: tiempos de surtimiento de energía cortos y suficiente autonomía. Adicionalmente, los beneficios al ambiente, los precios más bajos que la gasolina y el diésel y la reducción de emisiones de carbono construyen beneficios al ambiente y a la salud de las personas.

El paso hacia la electromovilidad ya es un hecho y la adopción de la tecnología se encuentra dando pasos agigantados. El caso del modelo BaaS ya ha sido implementada en varias urbes del mundo, mediante la entrada principalmente de EV pequeños como *scooters*, motocicletas, y vehículos de transporte de tres ruedas. En la India, empresas como SUN Mobility, Battery Smart y Gogoro han proporcionado estaciones de Intercambio de Baterías y adaptaciones de los vehículos utilizados por su población para el transporte interurbano, principalmente vehículos de dos y tres ruedas. Los resultados han sido exitosos, debido a que permite continuar con el estilo de uso de los EV como si se tratara de un vehículo convencional. Por lo que, tanto para las personas operarias como para las personas usuarias de estos medios de transporte la transición ha sido fluida. La electromovilidad con intercambio de baterías es un paso necesario para un desarrollo sustentable en las ciudades de la

India, donde 80 % de las emisiones de carbono son originadas por vehículos ICV y la mayor parte del mercado de transporte está dominado por vehículos de dos y tres ruedas<sup>73</sup>.

Horece Luke, fundador y CEO de Gogoro ha expresado que “La empresa se encuentra acelerando el cambio urbano a un entorno sustentable respecto al transporte en vehículos de dos y tres ruedas”<sup>74</sup>. Los impactos pueden ser vistos en el buen recibimiento que ha tenido la tecnología en sitios como la India o Taiwán, donde las personas repartidoras han tenido una buena apropiación tecnológica del modelo BaaS, y no únicamente de la empresa Gogoro, sino también de empresas como SUN Mobility, que en India se encuentra en constante crecimiento. Este crecimiento es gracias a las alianzas estratégicas con empresas nacionales de manufactura de vehículos, lo que ha formado una visión favorable respecto a la electromovilidad como futuro en la movilidad urbana<sup>75</sup>.

Respecto a las entidades usuarias del modelo BaaS, en los sitios donde se han implementado autobuses eléctricos de intercambio de baterías los impactos favorables al ambiente, como la reducción de emisiones contaminantes y la disminución de ruido han dado como resultado una amplia aceptación de la tecnología por parte de la población. Mientras que las entidades usuarias de EV de 2 o 3 ruedas han expresado su agrado a la tecnología pues les ha permitido acceder a los EV gracias a la reducción de precio derivado de la no inclusión del precio de la batería al comprar un vehículo. Tomando las palabras de Hsia Ding Hong, trabajador y estudiante de Taiwán, en una entrevista para The Japan Times, expresó que de no haber sido por la accesibilidad del precio, él no habría considerado comprar un *scooter* eléctrico, pues el alto precio, mantenimiento de la batería y tiempo de carga necesario no coinciden con su presupuesto ni ritmo de vida que necesita llevar<sup>76</sup>. Con esto, es posible visualizar cómo la accesibilidad es un punto importante para lograr la adopción y apropiación social de la tecnología.

## 6.5. Panorama nacional: Sitios de interés para la electromovilidad

México cuenta con una población en torno a los 126.2 millones de habitantes, de las cuales 103 millones se desplazan en el país ya sea por medio de transporte público o privado<sup>77</sup>. De estos desplazamientos, la mitad se lleva a cabo solamente en las grandes urbes del país: Zona del Valle de la Ciudad de México y las áreas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey. Estas urbes albergan un quinto de la población del país entero, por lo que son actualmente las ciudades con mayor enfoque respecto al desarrollo de una electromovilidad a nivel nacional.

El sector transporte, a nivel global, representa el 65 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En México, el sector transporte es el más importante respecto a la demanda del consumo energético final con un 43.6 % y cuya demanda es cubierta por un 70 % gasolinas y naftas (2017) y el 27.4 % con diésel<sup>78</sup>. Las emisiones de gases de los vehículos ICV representan un grave problema tanto para el ambiente como para la salud. De manera directa las emisiones vehiculares afectan la salud de las personas que respiran estos contaminantes e indirectamente por las consecuencias derivadas del impacto antropogénico en el ambiente. Las personas expuestas a contaminantes atmosféricos pueden presentar efectos en la salud tales como: daños en el sistema inmunitario, trastornos neurológicos, trastornos del desarrollo y problemas respiratorios. En 2020, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) declaró que la contaminación del aire en México ha sido causa de un

---

<sup>73</sup>Hossain, Hasan y Khan 2022.

<sup>74</sup>Gogoro 2023a.

<sup>75</sup>Metrosaga 2019.

<sup>76</sup>Liu C. 2023.

<sup>77</sup>Méndez et al. 2018.

<sup>78</sup>CEPAL 2018.

aproximado de 15,000 muertes prematuras al año<sup>79</sup>. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) declaró en ese mismo año que las emisiones de contaminantes al aire representaron un costo ambiental de 34 millones de USD<sup>80</sup>. Así las emisiones contaminantes representan el mayor costo ambiental, contando únicamente con los costos de la atención médica, por lo que al tomar en cuenta el impacto económico de la pérdida de productividad y el ausentismo laboral por las malas condiciones en el aire se incrementa de manera considerable.

Las ciudades son las zonas con mayor afectación debido a la cantidad de vehículos, los cuales tienden a exceder la capacidad de circulación máxima, saturando las vialidades y por tanto incrementando el tiempo en que pasan los vehículos detenidos con el motor encendido quemando más combustible y, por tanto, agravando aún más la situación respecto al problema de contaminación ambiental.

Es por esto que México ha entrado en compromiso con acciones para minimizar los impactos ambientales, sociales y económicos que las emisiones de gases de efecto invernadero trae consigo mediante la formulación de leyes y compromisos internacionales frente a organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Estrategias como la “Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030”<sup>81</sup> elaborada en conjunto a la SEMARNAT y el Escenario de Transición Energética Soberana dentro del Programa de Desarrollo de Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2019-2030 de la Secretaría de Energía. Sin embargo, para 2019, los esfuerzos por programas federales como la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) parecían insuficientes, pues aún al mencionar el “apoyo a programas para propiciar un transporte ambientalmente sustentable”<sup>82</sup>, no se enfocó en transporte urbano eléctrico. Las palabras “ambientalmente sustentables” se orientaban hacia el impulso del transportes masivos con menores emisiones o sistemas de tránsito rápido que funcionarán con vehículos ICV<sup>83</sup>. Por lo que es importante que el tema de la electromovilidad sea específicamente considerado en los documentos de gran alcance.

Acorde a las metas y compromisos acordados por México en el acuerdo de París se establecieron indicadores para reducir la emisión de contaminantes a corto, mediano y largo plazo en el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire)<sup>84</sup> promovido por la SEMARNAT. Además de buscar la reducción del 51 % de las emisiones nacionales de Carbono Negro y 22 % de emisiones nacionales para el año 2030<sup>85</sup>, se establecieron el fomento de EV y la transición a sistemas de electromovilidad urbana.

Actualmente, el Gobierno de México ya cuenta con una estrategia para la electromovilidad con algunos resultados aplicados, desde incentivos como el “EcoTAG” que otorga descuento del 20 % en las casetas de cobro y el holograma “E” en la CDMX; así como la exención de pago de tenencia en los EV los primeros 5 años y un descuento del 50 % los siguientes 5. Se busca retomar y expandir líneas de transporte eléctrico como trolebús, metro y metrobús, en la zona del Valle de México, Guadalajara y Monterrey. También se ha lanzado la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030 en la que se plantean distintos puntos clave para lograr la electromovilidad urbana, abordando específicamente: a) el uso de autobuses eléctricos, b) el retiro de los autobuses antiguos de las vías, c) la promoción para la transición a autobuses eléctricos, d) la implementación de proyectos piloto, e) el despliegue masivo de unidades eléctricas y f) la instalación de la infraestructura requerida tanto para la recarga como para el almacenamiento de los autobuses.

El Gobierno de México también ha enfocado su atención respecto al alto volumen de residentes

---

<sup>79</sup>SEMARNAT 2023.

<sup>80</sup>INEGI 2021.

<sup>81</sup>SEMARNAT 2018a.

<sup>82</sup>Comunicaciones y Transportes 2019.

<sup>83</sup>Carrillo, Briones y de los Santos Gómez 2020.

<sup>84</sup>Gobierno de México/SEMARNAT 2020.

<sup>85</sup>Gobierno de México 2015.



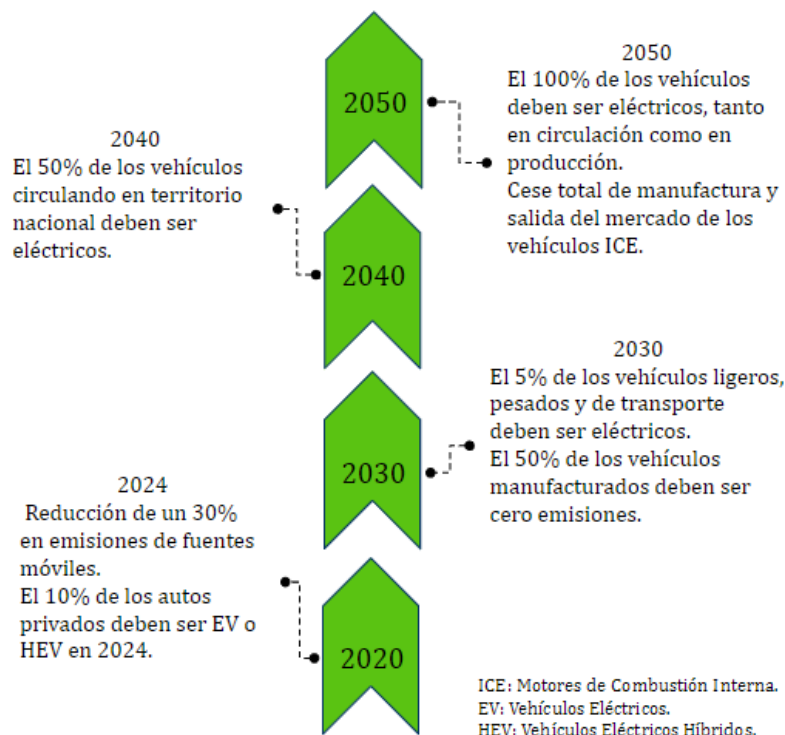


Figura 6.17: Línea temporal de metas 2024-2050 de la electromovilidad en México a partir de las legislaciones de 2020 y 2021.

y de concentración de flotas vehiculares en la zona metropolitana, por lo que ha lanzado propuestas, ambiciones y legislaciones tanto para incentivar la entrada de los EV y los HEV a nivel nacional. En 2020 se legisla a nivel nacional que los EV importados quedarían exentos del impuesto de importación hasta el 30 de septiembre del 2024. Respecto a la Ciudad de México y la zona metropolitana se hace mención al “Plan de reducción de emisiones del sector movilidad en la Ciudad de México”, donde se expone la ambición de una reducción por fuentes móviles de un 30 % por medio de: restricciones parciales temporales para el tráfico, esquemas de autos compartidos, mayor número de legislaciones “cero emisiones”, 10,000 bicicletas eléctricas y 16 parques masivos de bicicletas para 2024, 100 % de mototaxis eléctricas en 2024 y que 10 % de autos privados deben ser EVO HEV en 2024<sup>86</sup>.

En 2021, el Gobierno de México junto a los organismos de la SEMARNAT y CONUEE lanzaron propuestas nacionales con los objetivos porcentuales de EV en operación tanto para vehículos de pasaje pequeños, como vehículos de carga ligera y pesada, además de propuestas para las empresas de manufactura de vehículos. A continuación se presenta una línea de tiempo con las metas esperadas en cuanto a la electromovilidad y el cese de circulación de los vehículos ICV en México acorde a las metas propuestas por el Gobierno de México junto con el plan de reducción de emisiones del sector movilidad en CDMX:

<sup>86</sup>Gobierno de la Ciudad de México 2019.

### Zona Metropolitana del Valle de México

La Zona Metropolitana del Valle de México, en especial CDMX tiene basta experiencia con proyectos de electromovilidad pública, como lo es el metro y el trolebús. Los trolebuses se encuentran en un plan de recuperación y ampliación de la red con hasta 500 unidades para el cierre del 2024. Otro caso importante es el Metrobús, pues ha comenzado la electrificación de algunas de sus unidades: a finales del 2021 comenzaron operaciones 10 autobuses articulados eléctricos en la Línea 3<sup>87</sup>, y para marzo 2023 se han sumado 50 autobuses eléctricos articulados<sup>88</sup>; el plan con el Metrobús tiene como meta que para el 2030 el 30 % de su flota sea eléctrica.



Figura 6.18: Fotografías de algunos de los servicios de transporte eléctricos con los que cuenta la Zona del Valle México.

Los planes de actualización de movilidad en la Zona del Valle de México se enfocan en la integración y fortaleza de los sistemas de transporte público como el metro, tren ligero, Metrobús, Red de Transporte de Pasajeros (RTP), tren suburbano, Cablebús y Mexibus.

### Zona Metropolitana de Guadalajara

Se presenta el Plan Estatal de Desarrollo de Jalisco 2013-2033<sup>93</sup>, donde se pone como prioridad atender los problemas de calidad y cobertura que presentan los sistemas de movilidad de la región. Actualmente se está retomando la red de trolebuses, que se encontraba casi abandonada por la falta de mantenimiento y baja inversión, resurgiendo desde 2016 con unidades nuevas llamadas SiTren, operando en la llamada “Línea 3” donde cuenta actualmente con 25 trolebuses con capacidad para 100 personas, una extensión de 34 km y un total de 54 paradas oficiales. Cabe destacar que los trolebuses operan gracias a las ER, pues obtienen su fuente de energía mediante generadores eólicos.

Los planes a futuro de la zona metropolitana de Guadalajara muestran como objetivo la creación de la red del Peribús que recorra 41 km del corredor troncal a lo largo del anillo periférico de esta ciudad. Dicho proyecto se encuentra apoyado por el Fondo Nacional de Infraestructura (Fonadin) y por C40 Cities Finance Facility; y, aunque por el momento la planeación es con autobuses con gas

<sup>87</sup>Gobierno de la Ciudad de México 2022.

<sup>88</sup>Gobierno de la Ciudad de México 2023.

<sup>93</sup>JALISCO 2013.



Figura 6.19: Fotografías de los trolebuses de SiTren de la Línea 3 de Guadalajara. Fuentes: Noticias Pasajero<sup>791</sup> (2016) y Mural<sup>92</sup> (2022).

natural y diésel, se están llevando a cabo estudios de factibilidad respecto a la integración de autobuses eléctricos a esta red de movilidad<sup>94</sup>.

## Zona Metropolitana de Monterrey

Actualmente no cuenta con ninguna red de autobuses o trolebuses eléctricos o híbridos, pero cuenta con el tren ligero Sistema Colectivo Monterrey, conocido coloquialmente como “Metrorrey”, inaugurado en los años noventa, el cual cubre 32 estaciones a lo largo de 32 km en conjunto de las dos líneas que lo conforman. La posición de Monterrey respecto a la electromovilidad presenta la iniciativa de construcción de una tercera línea de 7.5 km contando con 8 estaciones, la obra está actualmente terminada pero no cuenta con las unidades para su tránsito.

C40 Cities Finance Facility seleccionó a Monterrey como participante en proyectos de electromovilidad por medio de la electrificación de su red de autobuses TransMetro que conectan a la red de metro local. A finales de 2022 se recibieron las primeras unidades AUV de FOTON México<sup>95</sup> (figura 6.20), de un total de 50 como primer pedido de unidades eléctricas. Dado el éxito y gran recibimiento por parte de la población a los primeros autobuses eléctricos en el sistema, Monterrey se encuentra actualmente en licitación para la adquisición de 98 autobuses FOTON para la integración a más rutas de TransMetro<sup>96</sup>.

<sup>94</sup>El Informador 2019.

<sup>95</sup>Hernández 2022.

<sup>96</sup>Maldonado O. 2023.



Figura 6.20: Fotografía de los autobuses eléctricos FOTON utilizados en la red Trans-Metro de Monterrey<sup>98</sup>.

### 6.5.1. Impacto social y ambiental de la electromovilidad en México



Figura 6.21: Fotografías de la contingencia ambiental que presentó la Ciudad de México en mayo del 2019. Fotografía de Juan Antonio López. Fuente: Gaceta UNAM<sup>100</sup>.

En Mayo de 2023 EGADE y VEMO presentaron el estudio “Electromovilidad en México: una propuesta de mitigación de emisiones y su impacto en la salud”. En él se muestran los resultados de cambiar los autobuses convencionales de diésel por autobuses eléctricos en la CDMX en el sistema de Metrobús. Su caso de estudio tomó en cuenta los 57 millones de km recorridos por la red de

transporte público Metrobús en 2022, reportados por el INEGI. Al realizar el análisis de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a un sistema convencional de diésel y un sistema completamente eléctrico de carga lenta se encontró un potencial de mitigación de 40.5 mil toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>101</sup>, y esto teniendo en cuenta que la fabricación de las baterías de un autobús eléctrico conlleva huella de carbono y la fuente de origen de la energía eléctrica por parte de plantas termoeléctricas de ciclo combinado que dominan la generación energética actual. El potencial de mitigación de CO<sub>2</sub> en la electromovilidad de México puede evidenciarse aún más conforme aumente la penetración de fuentes de energía renovable, ya que actualmente la huella de carbono relacionada a los proyectos de movilidad varía en función de su fuente tecnológica para la obtención eléctrica.

La mitigación de emisiones tiene un fuerte impacto en el ambiente y la salud de la población, como se ha mencionado antes, estudios sobre los efectos del calor extremo, por dar un ejemplo, han demostrado que la afectación a la población por la exposición a temperaturas extremas implica un aumento del gasto sanitario de 5.7 millones de USD además de afectaciones a largo plazo debido a la reducción de actividades físicas y del desplazamiento a pie. La Agencia Internacional de Energía (IEA) en 2020 mencionó que, en cuestiones económicas y de salud, la adopción de EV en México tendría un impacto beneficioso al reducir un 50 % los costos de salud derivados por la contaminación del aire para el 2030.

En México, no sólo es necesario que se integren modelos de electromovilidad, también es necesario compartir los viajes en vehículos ligeros, ir una sola persona en un automóvil en medio del tráfico no ayuda a la movilidad urbana, utilizar el transporte público y que se faciliten los desplazamientos a pie, en bicicleta y en *scooter*, son soluciones que deben darse para poder afrontar sustentablemente las dificultades climáticas actuales.

Respecto a modelos de intercambio de batería, en México ya se ha comenzado a introducir el modelo BaaS por medio de las motocicletas eléctricas, en 2020 se presentó la compañía ZYNCH<sup>102</sup> en CDMX. Y de manera más reciente se encuentra la integración de ITALIKA, marca orgullosamente mexicana, al sistema BaaS con el lanzamiento del vehículo Voltium Gravity desarrollado en colaboración con Citio<sup>103</sup>.

Mientras que ITALIKA se encarga de la manufactura de EV, sus convenios con ELEKTRA ayudan a la promoción de la venta del mismo. Actualmente cuenta con 40 estaciones ubicadas en CDMX y área metropolitana, Guadalajara y Tulum.

---

<sup>101</sup>EGADE 2023.

<sup>102</sup>ZYNCH 2022.

<sup>103</sup>Citio 2023.



Figura 6.22: Fotografía promocional de Citio, empresa mexicana de intercambio de baterías, Latamobility<sup>105</sup> (2021).

El modelo de negocio de Citio e ITALIKA en estos momentos se basa en la disposición a las entidades usuarias del modelo Voltium Gravity a un precio promedio entre sus demás vehículos ofrecidos, la ventaja se presenta al momento de ofrecer los planes de suscripción al intercambio de batería: con cuatro planes semanales y cuatro planes mensuales de acuerdo al tipo de consumo que se le quiera dar al vehículo. Ofreciendo planes semanales desde los 100 MXN por tres cambios, significando una autonomía de alrededor de 120-135 km, hasta 600 MXN, por un uso e intercambios ilimitado en estos planes semanales. Cuenta con su propia App para el seguimiento de tu batería y una tarjeta inteligente diseñada para desbloquear las baterías en la estación al momento de la compra de la motocicleta y de la inscripción al sitio. Ofrece, además, un modelo de pago disponible para pagar en tiendas físicas como OXXO o Farmacias del Ahorro, entre otras opciones más, por lo que la empresas se muestra abierta a algunas de las formas de pago más utilizadas en México<sup>106107</sup>. Gracias a este caso es posible observar la integración de la tecnología de intercambio de baterías enfocando la atención a uno de los sectores de movilidad más populares del país, junto a la promoción de precios y modelos de pago accesibles y adaptadas al público mexicano.

Por su parte, el impacto de proyectos público-privados en sectores estructurados se puede observar mediante la electrificación de algunas de las unidades de la Línea 3 del Metrobús en la CDMX. Esta ha presentado una buena aceptación poblacional, pues no sólo brinda más y nuevas unidades prestadoras de servicio, sino que se presenta un potencial impacto ambiental favorable con ello. El plan de la electrificación del sistema de Metrobús continúa de manera constante, por lo que se espera que estos cambios continúen por los próximos años, y que esta transición a la electromovilidad aunque implique una fuerte inversión, también implica un crecimiento de la industria automotriz, donde el 86% del personal ocupado son obreros, de acuerdo a los datos del INEGI, por lo que este tipo de proyectos generará un gran número de empleos.

---

<sup>106</sup>El Universal 2023.

<sup>107</sup>Murillo M. 2023.



Figura 6.23: Fotografía del banderazo de salida de los 50 autobuses eléctricos nuevos para la Línea 3 de este sistema de transporte, que sustituyen las unidades de diésel<sup>109</sup>.

### 6.5.2. Procesos clave de la planeación de un proyecto de electromovilidad en México

Para una electromovilidad en México es necesario que se observen los proyectos con una visión de Gran Impulso Ambiental en la que se fomente el crecimiento económico con menores emisiones de Gases de Efecto Invernadero, un uso eficiente de los recursos naturales y que sean socialmente inclusivos. Para lograrlo se requiere una coordinación de trabajos entre inversiones, estrategias y políticas que fomenten el desarrollo sustentable donde se genere una creación de empleos y crecimiento económico que beneficie a todas las personas.

Dentro de las responsabilidades del ámbito federal corresponde el establecimiento de lineamientos generales de reducción de niveles de emisión de contaminantes, la realización de esquemas de incentivos y subsidios que promuevan la adquisición de EV<sup>110</sup>. En especial aquellos enfocados a los vehículos para el transporte público eléctrico: a) el fomento dentro de la industria automotriz en cuanto a la fabricación de unidades eléctricas de transporte colectivo por medio de la creación de un Programa Sectorial, b) mayor regulación en el transporte público, c) programas de modernización de unidades, principalmente en zonas metropolitanas y d) que todos estas propuestas sean conformadas participativamente y consigan un consenso para realizar adecuadamente la medición de impactos.

#### ¿Cómo es la entrada de un proyecto de movilidad en México?

Respecto a los procesos que deben llevarse a cabo en México para la implementación de un proyecto dentro de un espacio público urbano donde diversas actividades son llevadas a cabo por un perfil heterogéneo de personas, el Gobierno de México en conjunto con GIZ GmbH en México disponen de una “Guía básica sobre Estudios de Movilidad en Proyectos del Espacio Público 2022” donde detallan los pasos para la entrada de cualquier proyecto de movilidad en un espacio público. A continuación se rescatan los puntos clave de esta guía.

<sup>110</sup>Carrillo, Briones y de los Santos Gómez 2020.

Es necesario entender la complejidad que conlleva la función del tránsito, pues más allá de llevarse a cabo el traslado entre dos o más puntos de la ciudad se trata de la compleja interacción entre la demanda de las entidades usuarias y la oferta de las estructuras disponibles para la movilidad. En general los estudios de movilidad buscan entender y evaluar estas condiciones de demanda y oferta para la construcción de ciudades humanas funcionales y sustentables.

Para poder introducir cualquier proyecto de movilidad es imprescindible entender los espacios y flujos de tránsito para realizar cualquier intervención en el espacio público, evaluando tres aspectos: demanda, oferta y las interacciones entre estas. Es preciso conocer el área de influencia y el enfoque que se desea: movilidad peatonal, vehículos pequeños, vehículos motorizados pesados, etc, así como los objetivos que el proyecto busca contribuir. Los análisis urbanos brindan información sobre el diagnóstico del sitio: las dinámicas de movilidad, la información que requiere actualizarse o falta de obtenerse, y permite la elaboración de metodologías y estrategias para conseguir los objetivos propuestos; algunas fuentes de información vial en México son:

- Las encuestas de Origen destino (ED0-H) del INEGI.
- Los reportes de sistemas de transporte, de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- Estudios de movilidad previos y de impacto vial.
- Planes de movilidad urbana sustentables.
- Sitios web que proporcionan datos estadísticos y de geo comportamiento como Tomtom<sup>111</sup> y Dat's Why<sup>112</sup> en sus apartados de flujos vehiculares.
- Obtención de datos a partir de encuestas y asistencias con la Auditoría de Seguridad Vial (ASV).

Toda la información recopilada necesita de su procesamiento y estudio correspondiente para así poder generar el análisis de factibilidad, donde se deberán evaluar las ventajas y desventajas técnicas, económicas, sociales y ambientales; análisis de operación, y la generación de un anteproyecto de movilidad que englobe todos los resultados de los análisis realizados. Finalmente, es importante documentar las soluciones técnicas utilizadas y también los posibles cambios que se implementaron en el proceso. Es importante recordar que a pesar de la existencia de diversas metodologías comunes cada proyecto necesita diseñarse para el caso específico en que será aplicado<sup>113</sup>.

En el caso específico de la electromovilidad nos enfrentamos a que una de las barreras principales es la alta inversión inicial, sin embargo, la industria automotriz en México consolida al país como un competidor global en materia manufactura de vehículos y autopartes pues representa un 3% del PIB total y un 16% del PIB manufacturero total del país, se presenta como el cuarto lugar como exportador y séptimo productor de automóviles en el mundo (OICA 2021), llegando a cifras en las que 4.2 vehículos de cada 100 vendidos en el mundo fueron fabricados en México. Además de también ser un fabricante importante respecto a autobuses y vehículos pesados que exporta principalmente a USA, dada la cercanía de las bases productivas más importantes del país ubicadas al norte. La transición a la electromovilidad conlleva cambios en los componentes de los vehículos por lo que las cadenas de proveeduría y alianzas comerciales se mantienen en constante expansión para poder garantizar su competitividad a nivel global. Estos datos sirven como una ventana de oportunidad potencial ya no sólo para las exportaciones de vehículos, sino para que la tecnología pueda ser fabricada nacionalmente, disminuyendo así el precio de los EV y en específico de los autobuses eléctricos, la manufactura de

---

<sup>111</sup>TomTom Traffic Index 2023.

<sup>112</sup>Dat's Why 2023.

<sup>113</sup>GIZ 2022.



EV y HEV son una oportunidad de negocio inmensa para México que podría ser fuertemente apoyada por la inversión extranjera y que se vería aún más beneficiada con la implementación de ER en los procesos.

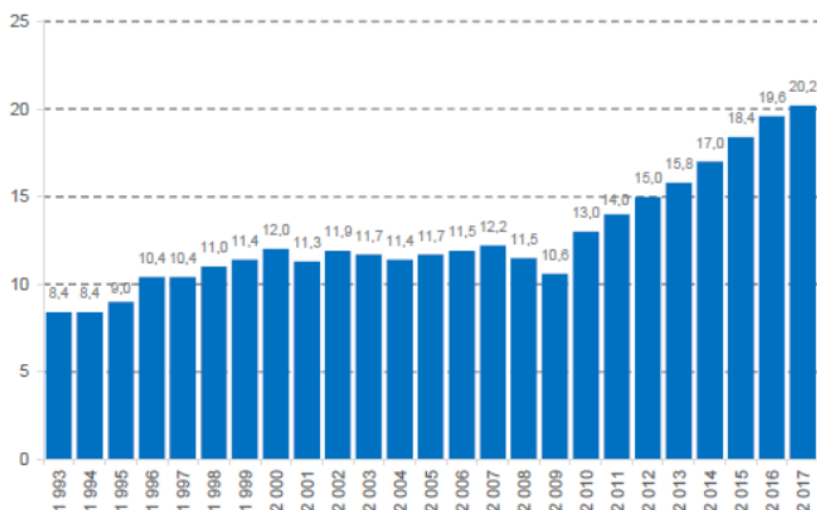


Figura 6.24: Porcentaje del PIB de la Industria Automotriz respecto al PIB de las industrias manufactureras, 1993-2017. Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México.

Los proyectos de electromovilidad son factibles en México, requieren de la propuesta de metas objetivas y estrategias correspondientes que se sigan de manera firme, en “Hacia una electromovilidad pública en México” publicado en 2020 se determinan los cuatro ejes principales de acción para lograr la electromovilidad en el país:

- Fomento a la adopción de la electromovilidad

Con el fin de acelerar la reducción de emisiones contaminantes por medio del transporte público mediante una actualización a las normas correspondientes para el transporte actual y la generación de nuevos estándares de eficiencia energética y el desarrollo de un plan de sustitución gradual de las unidades y sus componentes. También se requiere impulsar el desarrollo continuo de la infraestructura para la recarga de las unidades, por intermedio de la planificación con puntos estratégicos en la red, para poder abastecer la demanda energética presente y futura. Finalmente, dentro de este eje, se busca la realización de esquemas de incentivos para promover el uso de unidades de transporte público de transporte eléctrico.

- Fomento a una industria de autobuses eléctricos, almacenamiento y carga de energía

La industria de manufactura de vehículos debe impulsar la fabricación y reconversión de autobuses eléctricos en el país; además de continuar con su liderazgo en la exportación de estos. Para lograrlo se necesita del desarrollo de promoción sectorial y subsidio federal a quienes tengan las concesiones de autobuses para la reconversión de las unidades de diésel a eléctricas y bonos para la adquisición de nuevas unidades. Adicionalmente se requiere de programas de capacitación y formación técnica

especializada tanto en carreras como ingeniería para apoyar la investigación y maduración tecnológica, como en cursos especializados para personal operativo, de mantenimiento, de manufactura y en competencia de sistemas para las estaciones de carga.

- Coordinación y comunicación interinstitucional

Para contar con un ente encargado de coordinar e impulsar los ejes estratégicos de los planes de desarrollo es necesario una estructura de gobernanza interinstitucional, establecer canales de comunicación, planes de difusión y espacios de diálogo entre actores públicos y privados.

- Metas e indicadores del programa

Las metas sugeridas se encuentran enfocadas en los impactos en las zonas metropolitanas de México en plazos de 10 a 20 años a lo largo de los siguientes indicadores: emisiones CN y GEI, industrialización, empleo manufacturero, empleo técnico de operación, infraestructura/estaciones de recarga, cadenas de suministro, salud pública y ruido.

## Problemáticas en el sistema de transporte urbano actual en México

A lo largo del territorio nacional únicamente el 22 % de la demanda de movilidad es cubierta por sistemas de transporte público estructurado. El resto de la demanda es cubierta mediante sistemas de transporte público de mediana y pequeña capacidad en modelos semi-estructurados y no estructurados, por medio de dos tipos de concesiones:

- “Ruta-Empresa”. Una o varias empresas que aglomeran a microempresarios se encargan de la administración y operación de las unidades.
- Operados individualmente, también conocidos como “Hombre-camión”. La administración y operación de las unidades, así como la compra del vehículo, están a cargo de cada individuo.

El problema es que el que haya hasta miles de microempresas operando un número de unidades de transporte presenta un sistema de transporte público en el país altamente informal y desregulado. Estos microempresas no tienen obligaciones contractuales y con un mantenimiento preventivo nulo, llegando al punto de únicamente llevar a reparar las unidades cuando el daño amenaza con la inoperancia del vehículo. Claramente tiene desventajas y en adición este sistema es tan complejo y se encuentra tan extendido que el precio para reemplazar todas las unidades sería una inversión demasiado grande, pero el valor presente neto de la inversión del cambio a la electromovilidad es mayor que la sustitución por modernos ICV.

Aunque es más recomendable para los proyectos de electromovilidad el introducirse en los modelos de negocios de autobuses que se encuentran estructurados, (Concesión a una o varias empresas privadas, Participación público-privada, Sistema público mediante un organismo público descentralizado), se ha notado que la mayoría de planes de electromovilidad se dirigen únicamente a autobuses eléctricos de carga lenta y la opción de autobuses eléctricos de carga lenta con batería intercambiable sólo es mencionado como otra opción disponible, pero teniendo en cuenta la versatilidad de los modelos BS y de las ventajas y oportunidades del modelo de negocios BaaS es importante remarcar sus ventajas aplicables en el sector transporte en México:

- Debido a que un 88 % de las unidades de transporte público en México pertenecen a modelos informales representan un mercado potencial que es necesario atender, y aún con un proyecto piloto en alguna zona urbana se podrá tener un impacto ambiental y de salud significativo.

- Quienes poseen los autobuses, en estos modelos no estructurados, ya han realizado la inversión de las unidades y, en la mayoría de los casos, cada persona paga el combustible, el mantenimiento y su sueldo depende del número de entidades usuarias que atiende en su servicio. Un sistema BaaS brindaría apoyo para reducir los gastos de combustible y mantenimiento. Además de que apoyaría al sistema nacional a tener más formalidad gracias a la recopilación de datos de transporte.
- La madurez respecto a la fabricación de las autopartes, el hecho de que los modelos actuales no permiten la externalización de la propiedad de los autobuses y que las propias microempresas realizan modificaciones a sus unidades dificulta la transición. Así, un enfoque de desarrollo para realizar una actualización de sus sistemas de diésel a **Intercambio de Baterías** podría representar una oportunidad de mercado e impacto positivo en el beneficio social. Pues permitiría la apropiación tecnológica, incremento de valor de las unidades sin necesidad de un cambio completo, aportaría en la mitigación de efectos ambientales adversos, y generación de empleo implicada para el desarrollo de la tecnología, la operación y la construcción de la infraestructura.
- Incrementar el mercado de autobuses eléctricos impulsando la industria de manufactura nacional impulsará los precios competitivos además de mantener la posición sobresaliente a nivel global de la industria mexicana de manufactura de vehículos.

En general es necesario quedarse con la idea de que hoy en día la industria enfrenta grandes retos ante el punto de inflexión que ha sido la adopción de la electromovilidad a nivel global, las necesidades para cumplir con la demanda energética y el adecuado suministro de energía están cambiando la composición de la industria, por lo que es necesario que las acciones se tomen lo antes posible, el cambio a la electromovilidad se dará y es necesario iniciar el cambio a tiempo.

### 6.5.3. Propuestas para la apropiación social de la tecnología en México

Algunos de los puntos principales a atender para la entrada y apropiación social de los proyectos de electromovilidad en México tienen que ver principalmente con el impulso de normativas, medidas de cooperación y alianzas, programas atractivos para la inversión nacional y privada y para las entidades usuarias. El Programa Transporte Sustentable en su reporte “Oportunidades y recomendaciones para promover la electromovilidad en el transporte de carga y última milla en México”<sup>114</sup> recomienda la acción a corto plazo de las siguientes acciones para maximizar su alcance:

- La intervención a corto plazo en los vehículos livianos para el reparto urbano.
- Trabajos de logística para la implementación de centros de carga en lugares estratégicos.
- Fortalecimiento de la multimodalidad y el traslado de la carga a vehículos livianos para cubrir la distribución, facilitando así la escala a cubrir por la electromovilidad. Esto conlleva un trabajo de mejora a la estrategia logística donde se involucren los centros de distribución para ubicarlos en áreas estratégicas que se adecuen a la demanda.
- Impulsar la colaboración entre el sector público y privado para la generación de capacidades de inversión tecnológica y de Investigación y Desarrollo de los centros de carga y las capacidades de almacenamiento de las baterías.
- Desarrollo de normativas industriales para la estandarización de los modelos y componentes de los EV.

---

<sup>114</sup>Hartmann y Weldon 2021.

- Promoción de programas para la eficiencia energética.

Otro punto muy importante que se busca resaltar a lo largo de este trabajo, es la importancia de la promoción social y la apropiación de la tecnología, pues estos puntos de atracción para las entidades usuarias aceleran los procesos de adopción de la electromovilidad, además de la adopción de las ER en los proyectos para la obtención de los máximos resultados ambientales, sociales y económicos. A continuación se presentan algunas de las ventajas que propone el modelo BaaS<sup>115</sup> al usuario y a las empresas interesadas en entrar al modelo son las siguientes:

Entidades usuarias	Empresas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción del precio de los EV</li> <li>-Precios ajustables de acuerdo a sus necesidades.</li> <li>-Se eliminan las preocupaciones por la depreciación de las baterías.</li> <li>-Se incrementa la aceptación del mercado de segundo uso de EV, la batería ya no es un problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayor número de personas interesadas en obtener un EV.</li> <li>El modelo de suscripción es atractivo para empresas de manufactura de EV y compañías de operación de baterías, por lo que se generan alianzas.</li> </ul>

Tabla 6.8: Ventajas del modelo BaaS respecto a los precios y costos de los Vehículos Eléctricos.

Entidades usuarias	Empresas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-El tiempo de recarga es similar a las cargas de gasolina.</li> <li>-Las suscripciones cubren los servicios de uso, reparación, y reemplazo de las baterías.</li> <li>-Se incrementa la seguridad y vida útil de las baterías.</li> <li>-El manejo al terminar el ciclo de vida de las baterías corre a cargo de la empresa BaaS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vehículos comerciales pueden integrarse en el uso de BS, lo cual permite a más compañías formar alianzas.</li> <li>-Los costos y beneficios se comparten y aprovechan entre las compañías de logística, movilidad y de servicios de entrega.</li> <li>-Mayor control sobre el ciclo de vida de las baterías, optimizando su uso y su vida útil.</li> <li>-Potencial de integración a la red y con ello de optimizar los costos de energía, gracias al uso de las mismas baterías como sistema de almacenamiento.</li> <li>-La integración a la red permite la integración de la tecnología en estructuras municipales existentes.</li> </ul>

Tabla 6.9: Facilidades tecnológicas que propician a la aceptación y apropiación de la tecnología.

Para la industria automotriz en México, se presenta un gran interés en la producción de Vehículos Eléctricos tanto para vehículos pequeños como para vehículos grandes, hay apoyo para la industria nacional y extranjera. Además de que un número de autopartes son fabricadas en territorio nacional, por lo que es factible y necesario la integración de la industria automotriz en los proyectos de electromovilidad y en la facilitación de partes para poder dar una extensión de vida con enfoque eléctrico a las unidades de transporte como lo son los autobuses. La demanda de unidades de autobuses eléctricos desde el extranjero y a nivel nacional para el abastecimiento de los sistemas de transporte metropolitanos construiría un desarrollo importante para la industria de fabricación de autobuses eléctricos en México, con impacto a nivel mundial.

<sup>115</sup>Ibold, Xia y GmbH 2022.



# Conclusiones

A manera de conclusiones, queremos enfatizar que un México postpetróleo se avecina en un futuro no muy lejano. Que las bondades de ser un país productor de petróleo solo benefició a una porción muy limitada de nuestra población. Este modelo económico, basado en hidrocarburos, está fuertemente ligado a economías extractivistas que no promueven el desarrollo social. El petróleo ha impulsado los indicadores económicos, pero ante la dinámica vertical del modelo económico que le es natural, no ha sido efectivo como un bien que permita incrementar los indicadores de bienestar social.

Uno de los principales usos del petróleo en México ha sido en el transporte. De hecho, su intensidad energética le ha permitido ser el combustible más utilizado en todo el sector. En las últimas décadas el surgimiento de la electromovilidad ha mostrado un crecimiento exponencial con disminución de precios también exponencial pero decreciente. Es decir, aunque el uso más justificado de los hidrocarburos lo encontramos en el sector transporte, también podemos ver como el cambio a la electricidad, como energético preferente del sector, se está dando a pasos agigantados, gracias al avance tecnológico y la disminución de costos.

Las posibilidades tecnológicas de la electromovilidad son diversas y con la experiencia que la humanidad ha tenido con la explotación petrolera, ahora el enfoque de la transición a la electromovilidad debe considerar aspectos económicos, ambientales y sociales por igual para que esta transición sea una opción social. Así, la inclusión de fuentes renovables, en el ciclo de vida de la generación de electricidad para el transporte, permite descentralizar e incluso democratizar el modelo energético en el sector transporte. Esto es, se ha demostrado técnica y económicamente que la necesidad de usar energía intensiva para transportarnos no requiere del uso de hidrocarburos y puede suplirse con electricidad. Esto permite, no solo disminuir la emisión de contaminantes, sino, más importante aún, posibilita un sector de transporte decarbonizado al transicionar hacia fuentes más sustentables de energía. Adicionalmente, las fuentes renovables de generación eléctrica promueven sistemas energéticos socio-técnicos, donde se benefician a más personas durante la gestión energética, en oposición a los modelos basados en hidrocarburos donde los beneficios caen en manos de un grupo pequeño y privilegiado.

Este texto abunda en aspectos técnicos, económicos y organizacionales con miras a nuevos modelos de negocios en el ámbito de la electromovilidad que apuntan fundamentalmente hacia el bienestar social. Muestra escenarios en otros países de los que se puede aprender y con este aprendizaje construir soluciones de acuerdo a las potencialidades de las regiones mexicanas. También se muestran casos incipientes en México, los posibles obstáculos que se enfrentan y se aperturan posibilidades para resolver esas problemáticas y planear una movilidad realmente sustentable.

Consideramos que es posible una transición hacia la electromovilidad que promueva la equidad entre las personas y las otras especies que nos acompañan en este planeta.



# Recomendaciones para políticas

## Costo ambiental del sector transporte

El sector transporte, según datos del Banco mundial, representa el 24 % de las emisiones de  $CO_2$  a nivel global resultado de la combustión de hidrocarburos. En México, los números son aún peores, ya que este sector es responsable del 33 % de las emisiones generadas en el país. Este sector enfrenta grandes retos hacia la descarbonización; el más inmediato es la adopción de la electromovilidad a nivel global. Los vehículos eléctricos (VE) se están convirtiendo en una opción cada vez más popular y competitiva para el transporte limpio. Al utilizar electricidad basada en energías renovables, ofrecen importantes oportunidades para reducir las emisiones contaminantes locales y globales. El desafío clave es reducir rápidamente los costos de los paquetes de baterías, mejorar su densidad de energía y expandir la red de recarga. Aunque los vehículos eléctricos recién se están implementando como vehículos para el mercado masivo, algunas ofertas de ciertos fabricantes ya parecen estar cerca de competir con los vehículos convencionales con motor de combustión interna (CI). En este sentido, la electromovilidad se considera uno de los cambios tecnológicos clave en la lucha contra el cambio climático. A medida que los costos de las baterías continúan disminuyendo, la viabilidad de los vehículos eléctricos sólo aumentará y los EV se convertirán en la opción de menor costo para una gama más amplia para la compra de automóviles.

Sin embargo, es importante resaltar que para tener un transporte sustentable, es indispensable disminuir la cantidad de automóviles e incentivar al transporte público. Para lograrlo, es necesario encontrar alternativas eficientes y rápidas que mantengan en movimiento al transporte público la mayor cantidad de tiempo, evitando el tiempo de recarga de sus baterías. Esto solo es posible con el modelo de intercambio de baterías. De esta forma, cuando un vehículo necesita recargar su batería, pasa a la estación de servicio para intercambiar su batería vacía, por una cargada.

## Transformación del sector en México

Para la industria automotriz en México, la producción de vehículos eléctricos es un área de oportunidad interesante y con gran potencial. Tanto para vehículos pequeños como para vehículos grandes. Un gran número de autopartes son fabricadas en territorio nacional, por lo que la integración de la industria automotriz en los proyectos de electromovilidad es factible y necesaria así como en la proveeduría de partes para poder dar una extensión de vida con enfoque eléctrico a las unidades de transporte como los autobuses. La demanda de unidades de autobuses eléctricos, desde el extranjero y a nivel nacional, para el abastecimiento de los sistemas de transporte metropolitanos construiría un desarrollo importante para la industria de fabricación de autobuses eléctricos en México, con impacto a nivel mundial. Inclusive, podemos ver un nicho de desarrollo en las estaciones de servicio actuales (gasolineras) del país, ante la posibilidad de expandir su mercado a no sólo dar servicio a vehículos de



combustión interna, sino también a vehículos eléctricos y adaptarse mejor a la transición energética. Lecciones aprendidas hacia la electromovilidad sustentable

De experiencias en otros países donde se ha implementado la electromovilidad con intercambio de baterías destacan las siguientes lecciones aprendidas:

El despliegue de transporte público eléctrico requiere de una infraestructura de carga y una organización inteligente basada en los siguientes criterios: rango de alcance del vehículo, ubicación de estaciones de carga, longitud de las rutas, minimizar los “kilómetros muertos” (aquellos en los que no se avanza por la densidad de tráfico), despliegue en rutas de gran visibilidad y ocupación para que su uso muestre con el tiempo un cambio significativo en la calidad del aire.

Para la creación de nuevas rutas, estas deben planearse acorde a las capacidades de operación del intercambio de baterías. La longitud de la ruta debe planearse para mantener un estado de carga de la batería razonable con un nivel mínimo de entre 20 y 30 % que les permita llegar a la estación de intercambio. Esta debe ser lo suficientemente larga para evitar viajes a la estación de intercambio cada que se complete una vuelta a la ruta, pero a la vez debe ser lo suficientemente corta para que las baterías puedan cubrir al menos el viaje de ida y vuelta.

Para optimizar los recursos, se deben realizar análisis de la demanda de carga e intercambio de baterías. Esto implica tomar el tiempo que requiere un intercambio de batería junto con el tiempo de llegada a la estación por parte del autobús respecto al tiempo efectivo de viaje (con personas pasajeras). En las estaciones de intercambio se debe considerar el tiempo de carga de las baterías para asegurar que estén listas para el intercambio cuando son requeridas.

## México y la implementación de la electromovilidad

Aunque es más recomendable para los proyectos de electromovilidad el introducirse en los modelos de negocios de autobuses que se encuentran estructurados, (concesión a una o varias empresas privadas, participación público-privada, sistema público mediante un organismo público descentralizado), se ha notado que la mayoría de planes de electromovilidad se dirigen únicamente a autobuses eléctricos de carga lenta y la opción de autobuses eléctricos de carga lenta con batería intercambiable sólo es mencionado como otra opción disponible, pero teniendo en cuenta la versatilidad de los modelos *battery swap* y de las ventajas y oportunidades del modelo de negocios batería como servicio es importante remarcar sus ventajas aplicables en el sector transporte en México:

Debido a que un 88 % de las unidades de transporte público en México pertenecen a modelos informales, representan un mercado potencial que es necesario atender, y aún con un proyecto piloto en alguna zona urbana se podrá tener un impacto ambiental y de salud significativo.

Quien posee los autobuses en estos modelos no estructurados ya han realizado la inversión de las unidades y, en la mayoría de los casos, cada persona paga el combustible, el mantenimiento y su sueldo depende del número de entidades usuarias que atiende en su servicio. Un sistema batería como servicio brindaría apoyo para reducir los gastos de combustible y mantenimiento, además de que apoyaría al sistema nacional a tener más formalidad gracias a la recopilación de datos de transporte.

Continuando con la madurez respecto a la fabricación de las autopartes, el hecho de que los modelos actuales no permiten la externalización de la propiedad de los autobuses y que las propias microempresas realizan modificaciones a sus unidades, un enfoque de desarrollo para realizar una actualización de sus sistemas de diésel a Intercambio de Baterías podría representar una oportunidad de mercado e impacto positivo. Pues permitiría la apropiación tecnológica, incremento de valor de las unidades sin necesidad de un cambio completo, aportaría en la mitigación de efectos ambientales adversos, y generación de empleo implicada para el desarrollo de la tecnología, la operación y la construcción de la infraestructura.

Incrementar el mercado de autobuses eléctricos impulsando la industria de manufactura nacional impulsará los precios competitivos; además de mantener la posición sobresaliente a nivel global de la industria mexicana de manufactura de vehículos.

En México, no sólo es necesario que se integren modelos de electromovilidad, también es necesario compartir los viajes en vehículos ligeros, ir una sola persona en un automóvil en medio del tráfico no ayuda a la movilidad urbana, utilizar el transporte público y que se faciliten los desplazamientos a pie, en bicicleta y en *scooter*, son soluciones que deben darse para poder afrontar sustentablemente las dificultades climáticas actuales.

## ¿Qué se necesita para poder introducir un proyecto de electromovilidad en México?

El diseño de un proyecto de movilidad requiere entender los espacios y flujos de tránsito, evaluando tres aspectos: demanda, oferta y las interacciones entre estas. Es preciso conocer el área de influencia y el enfoque que se desea: movilidad peatonal, vehículos pequeños, vehículos motorizados pesados, etc, así como los objetivos que el proyecto busca alcanzar. Los análisis urbanos brindan información sobre el diagnóstico del sitio: las dinámicas de movilidad, la información que requiere actualizarse u obtenerse. Esto posibilita la elaboración de metodologías y estrategias para alcanzar un sistema de movilidad sustentable.

Algunos de los puntos principales a atender para la entrada y apropiación social de los proyectos de electromovilidad en México tienen que ver principalmente con el impulso de normativas, medidas de cooperación y alianzas, programas atractivos para la inversión nacional y privada, y para las entidades usuarias. El reporte “Oportunidades y recomendaciones para promover la electromovilidad en el transporte de carga y última milla en México” aporta una serie de acciones a corto plazo. Si además, adoptamos el modelo de estaciones de intercambio, estas acciones pueden ser mejor aceptadas por la comunidad, pues se eliminan barreras del modelo tradicional de carga de vehículos. Las acciones propuestas serían:

- Promover la intervención a corto plazo en los vehículos livianos para el reparto y transporte urbano.
- Realizar trabajos de logística para la implementación de centros de intercambio de baterías en lugares estratégicos.
- Impulsar la colaboración entre el sector público y privado para la generación de capacidades de inversión tecnológica y de investigación y desarrollo de los centros de intercambio, de las capacidades de almacenamiento de las baterías y las tecnologías para carga que alarguen la vida de las baterías (el modelo permite que la velocidad de la carga pase a segundo plano).
- Desarrollo de normativas industriales para la estandarización de los modelos y componentes de los vehículos eléctricos.
- Promoción de programas para el aprovechamiento de fuentes renovables en las estaciones de intercambio de baterías.

## Conclusiones

El intercambio de baterías como modelo no debe ser visto como un reemplazo de los métodos de carga tradicionales, sino como una tecnología complementaria que ayude a diversificar las opciones

disponibles tanto para las empresas como para las entidades usuarias. Además es igualmente importante recordar que la integración y alianza de diferentes empresas en un negocio de intercambio de baterías permite retribuir los costos de inversión y ganancias del proyecto, otorgando así una resiliencia financiera. Finalmente, el compromiso gubernamental en cuanto a medidas normativas y de subsidios que apoyen la electromovilidad aumenta el porcentaje de éxito y adopción tecnológica.

# Siglas

## **2W**

Término utilizado para definir a los vehículos eléctricos de dos ruedas. 39

## **ACEA**

Asociación de Constructores Europeos de Automoviles, por sus siglas en ingles *European Automobile Manufacturers' Association*. 20

## **AFID**

Directiva de Infraestructura de Combustibles Alternativos, por sus siglas en inglés *Alternative Fuels Infrastructure Directive*. 9, 10

## **BaaS**

Batería como servicio, por sus siglas en ingles *Battery as a Service*. 37, 39, 50, 53, 57–60, 62, 65, 73, 76–78, 84, 89–91

## **BCS**

Estaciones de Carga de Baterías, por sus siglas en inglés *Battery Charging Station*. 55

## **BCSS**

Estaciones de Carga e Intercambio de Baterías, por sus siglas en inglés *Battery Charging and Swapping Station*. 52, 53, 66, 68, 69

## **BEV**

Vehículo eléctrico de baterías, por sus siglas en inglés *Battery electric vehicle*. 2, 7, 9, 10, 28

## **BSS**

Estaciones de Intercambio de Baterías, por sus siglas en inglés *Battery Swapping Station*. 52, 54, 67, 70, 75

## **BYD**

Empresa China dedicada a la manufactura de vehículos eléctricos, *Build Your Dreams*. 46

## **CA**

Corriente eléctrica Alterna.. 16

## **CC**

Corriente eléctrica Continua.. 16, 37

## **CCS**

Sistema de carga combinado, por sus siglas en inglés *Combined Charging System*. 19, 21

**CFE**

Comisión Federal de Electricidad. 15, 16, 18, 37

**CHAdEMO**

Conector de carga rápida.. 19

**CO<sub>2</sub>**

Dióxido de Carbono principal gas de efecto invernadero producto de las actividades del ser humano. 27

**COP21**

Conferencia de las Partes. 1

**DBGIR**

Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. 30

**e-PMV**

Vehículo de movilidad personal asistido por energía eléctrica, por sus siglas en inglés *electric assisted personal motor vehicle*. 2

**EHT**

Vehículos Eléctricos Pesados, por sus siglas en inglés *Electric Heavy Trucks*. 40

**ER**

Energías Renovables. 54, 68, 81, 88, 91

**EV**

Vehículo eléctrico, por sus siglas en inglés *electric vehicle*. 7, 8, 10, 12–14, 27–29, 35, 44, 50–55, 58–62, 66, 69, 70, 72, 73, 75–80, 84, 86–88, 90, 91

**EVSE**

Vehículo eléctrico de carga, por sus siglas en inglés *electrical vehicle supply equipment*. 9

**GDBT**

Tarifa eléctrica para usuarios en baja tensión, Gran Demanda Baja Tensión. 22

**GDMTH**

Tarifa eléctrica para usuarios en media tensión, Gran Demanda Media Tensión Horaria. 22

**GEI**

Gases de efecto invernadero. 11, 29

**GWh**

GigaWatt-hora, unidad para medir energía eléctrica que es igual a mil millones de Watts. 10, 11, 29

**HEV**

Vehículo híbrido, con motor eléctrico y de combustión, por sus siglas en inglés *Hybrid electric vehicle*. 2, 80, 88

**ICV**

Vehículo con motor de combustión interna, por sus siglas en inglés *internal combustion vehicle*. 2, 6, 7, 15, 25, 28, 29, 51, 52, 57, 60, 72, 78–80, 89

**IEC**

Comisión Electrotécnica Internacional, por sus siglas en inglés *International Electrotechnical Commission*. 19

**IEPS**

Impuesto que grava a los combustibles, por sus siglas Impuesto Especial sobre Producción y Servicios. 28, 29

**INEGI**

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 31, 79, 84, 85, 87

**IRENA**

Agencia Internacional de Energías Renovables, por sus siglas en inglés *International Renewable Energy Agency*. 12

**IVA**

Impuesto al Valor Agregado, es un impuesto indirecto que tiene una carga fiscal sobre el consumo. 26, 28

**kW**

KiloWatt, unidad para medir potencia eléctrica que es igual a mil Watts. 7

**kWh**

kiloWatt-hora, unidad para medir energía eléctrica que es igual a mil Watts por hora. 10, 11

**LCV**

Vehículo eléctrico comercial ligero, por sus siglas en inglés *light comercial electric vehicle*. 6, 9

**LFP**

Baterías de Fosfato de Litio-Hierro. 11, 12

**LGPGIR**

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 30

**mdd**

Millones de dolares. 48

**MW**

MegaWatt, unidad para medir potencia eléctrica que es igual a un millón de Watts. 7

**NEV**

Vehículos de Nueva Energía, por sus siglas en inglés *New Energy Vehicles*. 70

**NOM**

Las Normas Oficiales Mexicanas son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, que tienen como finalidad establecer las características que deben reunir los procesos o servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas. 33

**OBC**

Cargador a bordo, por sus siglas en inglés *On Board Charger*. 16

**OCP**

Protocolo abierto de carga, estándar de comunicación de código abierto para estaciones de carga de vehículos eléctricos y empresas de software de red. Por sus siglas en inglés *Open Charge Point Protocol*. 31

**OEM**

Fabricante de Equipo Original, por sus siglas en inglés *Original Equipment Manufacturer*. 14

**ONU**

Organización de las Naciones Unidas, por sus siglas en inglés *United Nations*. 30

**PDBT**

Tarifa eléctrica para usuarios en baja tensión, Pequeña Demanda Baja Tensión. 22

**PEII**

Promoción de la Electromovilidad por Medio de la Inversión en Infraestructura de Recarga. 16

**PHEV**

Vehículo híbrido enchufable, por sus siglas en inglés *Plug-in hybrid electric vehicle*. 2, 7, 9, 10, 28, 44

**PNPGIR**

Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 30

**PNPGIRME**

Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial. 30

**PRODESEN**

Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. 29

**SAE**

Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices, por sus siglas en inglés *Society Automotive Engineers*. 19

**SEMARNAT**

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 30

**SITP**

Sistema Integrado de Transporte Público. 46

**T-MEC**

Acuerdo comercial entre México, Canadá y Estados Unidos. 31

**TWh**

TeraWatt-hora, unidad para medir energía eléctrica que es igual a un millón de megawatts por hora. 11

**UNFCCC**

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés *United Nations Framework Convention on Climate Change*. 1

**USD**

Dólar Estadounidense, moneda oficial de los Estados Unidos de América.. 12

**V2G**

Vehículo eléctrico a la red, por sus siglas en inglés *Vehicle to Grid*, tecnología innovadora basada en la gestión de la carga bidireccional, transforma los vehículos eléctricos en grandes baterías móviles con ruedas que interactúan inteligentemente con la red eléctrica. 31

**VAMO**

Vehículos Alternativos para Movilidad. 45

**WEF**

Foro Económico Mundial, por sus siglas en inglés *World Economic Forum*. 12





# Bibliografía

- Advanced Propulsion Center UK (2023). *Future lithium availability for EV batteries continues to be a cause for concern*. URL: <https://www.apcuk.co.uk/future-lithium-availability-for-ev-batteries-continues-to-be-a-cause-for-concern/>.
- Alianza Mx (2021). *Diagnóstico y Recomendaciones para la Transición de la Industria Automotriz en México*. URL: <https://www.gob.mx/sre/documentos/grupo-de-trabajo-para-la-electrificacion-del-transporte?state=published>.
- Aneja, Dev Ashish y Abhishek Bansal (2021). «Battery Swapping – the nitty-gritty you need to know». En: *Auto Economics Times*. URL: <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/auto-components/battery-swapping-the-nitty-gritty-you-need-to-know/85423071>.
- Aulton (2023). *Battery Swapping Business, New Automotive Technology*. URL: <https://www.aulton.com/index.php/en/list-33.html>.
- Automobile Manufacturers, China Association of (2022). *By the end of 2021, the number of new energy vehicles in the country will reach 7.84 million, of which 6.4 million are pure electric vehicles*. URL: [http://www.caam.org.cn/chn/7/cate\\_120/con\\_5235354.html](http://www.caam.org.cn/chn/7/cate_120/con_5235354.html).
- Avere-France (2023). Acceso en mayo 2023. URL: <https://www.aver-france.org/>.
- Banco Mundial (2020). *Emisiones de CO2 originadas por el transporte (del total de la quema de combustible)*. URL: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.TRAN.ZS>.
- Biliti Electric Inc. (2022). *Battery Swap*. URL: <https://bilitielectric.com/blog/ev-battery-swap/>.
- Binita, P. (2019). *Ahmedabad BRTS Electric Bus Launch and Plans*. URL: <https://citizenmatters.in/ahmedabad-brts-electric-bus-launch-and-plans-14015>.
- BloombergNEF (2022). *Increase in Battery Prices Could Affect EV Progress*. URL: <https://about.bnef.com/blog/increase-in-battery-prices-could-affect-ev-progress>.
- Briefing, China (2020). *How Can Foreign Technology Investors Benefit from China's New Infrastructure Plan?* URL: <https://www.china-briefing.com/news/how-foreign-technology-investors-benefit-from-chinas-new-infrastructure-plan/>.
- Carrillo, Jorge, J. Briones y J. S. de los Santos Gómez (2020). *Hacia una electromovilidad pública en México*. Inf. téc. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

- CEPAL (2018). *Informe nacional de monitoreo de eficiencia energética de México, 2018*. Inf. téc. Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018 Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), págs. 1-200.
- CFE (2018). *Promoción de la electromovilidad sustentable*. URL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1\\_CFE\\_DesarInfRecVE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1_CFE_DesarInfRecVE.pdf).
- (2023a). *Electrolineras*. URL: <https://www.cfe.mx/paese/serviciospaese/Pages/electrolineras.aspx>.
- (2023b). *Red troncal de electrolineras*. URL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1%5C\\_CFE%5C-%5C\\_DesarInfRecVE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395711/1%5C_CFE%5C-%5C_DesarInfRecVE.pdf).
- (2023c). *Segundo medidor para cargar tu vehículo eléctrico*. URL: <https://www.cfe.mx/paese/serviciospaese/Pages/electrolineras.aspx>.
- (2023d). *Tarifas CRE*. URL: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/%5C-Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>.
- Chambers and Partners (2022). *Battery Swapping: A promising future for electric vehicles*. URL: <https://chambers.com/articles/battery-swapping-a-promising-future-for-electric-vehicles>.
- Citio (2023). *Página principal Citio*. URL: <https://citio.com.mx>.
- Cluster de energía eléctrica Bogotá (2019). *Incentivos aprobados para el uso de vehículos eléctricos*. URL: <https://www.ccb.org.co/Clusteres/Cluster-de-Energia-Elctrica/Noticias/2019/Julio-2019/Estos-son-los-incentivos-aprobados-para-el-uso-de-vehiculos-electricos>.
- CnEVPos (2021). *China's battery swap national standard drafted by firms including NIO to go into effect Nov 1*. URL: <https://cnevpost.com/2021/05/10/battery-swap-national-standard-to-go-into-effect-nov-1/>.
- Cohen, A. y S Shaheen (2016). «Planning for shared mobility». En: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. ISSN: 1361-9209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102226>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919309460>.
- Comunicaciones y Transportes, Gobierno de México/Secretaría de (2019). *Programa de Trabajo 2019*. URL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/477031/Programa\\_de\\_Trabajo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/477031/Programa_de_Trabajo.pdf).
- Congreso de la Union (2015). *Ley Minera*. URL: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LMin.pdf>.
- Cooley, Brian (2022). *A New Take on Swapping Out Electric Car Batteries*. URL: <https://www.cnet.com/roadshow/news/a-new-take-on-swapping-out-electric-car-batteries-from-startup-ample>.
- Dashveenjit, K. (2022). *CATL is on its way to revolutionize battery swapping in China*. URL: <https://techwireasia.com/2022/08/catl-is-on-its-way-to-revolutionize-battery-swapping-in-china/>.
- Dat's Why (2023). *Flujos Vehiculares*. URL: <https://datwhy.com/#flujosvehiculares>.
- EGADE, VEMO (2023). *Electromovilidad en México: una propuesta de mitigación de emisiones y su impacto en la salud*. URL: <https://egade.tec.mx/es/blog/>

- electrificacion-de-autobuses-del-transporte-publico-mitigaria-405-mil-toneladas-de-co2-al-ano.
- El Informador (2019). *Nuevo proyecto duplica costo de Peribús*. URL: <https://www.informador.mx/jalisco/Nuevoproyecto-duplica-costo-de-Peribus-20190311-0030.html>.
- El Universal (2023). *Bancos pierden en cobertura ante Oxxo*. URL: <https://www.eluniversal.com.mx/cartera/bancos-pierden-en-cobertura-ante-oxxo/>.
- Electric Mobility, Industry Service for (2022). *CATL introduces new battery tech called MTB for HGVs*. URL: <https://www.electrive.com/2022/09/19/catl-introduces-new-battery-tech-called-mtb-for-hgvs/>.
- Enel (2022). *The electric bus arrives in Lima to revolutionize public transport*. URL: <https://www.enel.pe/en/sustainability/electric-bus-lima-revolutionize-public-transport.htm>.
- Enel Corporate (2022a). *Electric public transport in Bogota*. URL: <https://corporate.enelx.com/es/media/case-studies/2022/09/electric-public-transport-bogota>.
- (2022b). *Un paso hacia la descarbonización: la solución para Lima*. URL: <https://corporate.enelx.com/es/stories/2021/05/driving-electric-public-transportation-electric-bus-latin-america#latam>.
- ENERGY, TYCORUN (2022). *TYCORUN ev battery swapping stations 9 slots*. URL: <https://batteryswapstation.com/product/ev-battery-swapping-stations-9-slots/#list-info>.
- (2023). *Driving factors and application scenarios of heavy truck battery swap*. URL: <https://batteryswapstation.com/heavy-truck-battery-swap/>.
- Energy World (2023). *Mexico makes a lots of electric cars, but few Mexicans drive them*. Acceso en mayo 2023. URL: <https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/power/mexico-makes-lots-of-electric-cars-but-few-mexicans-drive-them/98898816>.
- Europe, Automotive News (2022). *Berlin-based EV battery-swap effort targets taxis*. URL: <https://europe.autonews.com/suppliers/berlin-based-ev-battery-swap-effort-targets-taxis>.
- Forbes (2022). *Battery Swapping Revival*. URL: <https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2022/09/12/battery-swapping-revival-could-threaten-electric-car-charging-networks/?sh=4daf4ebc1b1b>.
- Gemes, Nikola (2022). *Ample Is Launching Battery Swapping For EVs, Uber Drivers in the Bay Area*. URL: <https://greencitizen.com/news/ample-is-launching-battery-swapping-for-evs-uber-drivers-in-the-bay-area-first-customers/>.
- GIZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (2022). *Guía básica sobre Estudios de Movilidad en Proyectos del Espacio Público*. Inf. téc. Gobierno de México, págs. 1-19.
- Gobierno de la Ciudad de México (2019). *Plan de reducción de emisiones del sector movilidad en la Ciudad de México*. URL: <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/storage/app/media/plan-reduccion-de-emisiones.pdf>.

- Gobierno de la Ciudad de México (2022). *Llegaron autobuses eléctricos para el Metrobús*. URL: <https://gobierno.cdmx.gob.mx/noticias/llegaron-autobuses-electricos-para-el-metrobus/>.
- (2023). *Taller 20 de julio: Camino hacia la electromovilidad en Metrobús. Encuentro de empresas operadoras*. URL: <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/taller-electromovilidad>.
- Gobierno de México (2015). *Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030*. URL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015\\_indc\\_esp.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_indc_esp.pdf).
- Gobierno de México/SEMARNAT (2020). *Acciones y programas de Gestión para mejorar la calidad del aire*. URL: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestionpara-mejorar-la-calidad-del-aire>.
- Gogoro (2021). *Guidehouse Insights Ranks Gogoro as the Global Leader in Light Electric Vehicle Battery Swapping*. URL: <https://www.gogoro.com/news/guidehouse-insights-ranks-gogoro-global-leader-light-electric-vehicle-battery-swapping/>.
- (2023a). *Gogoro Begins Battery Swapping in India*. URL: <https://www.gogoro.com/news/india-pilot/>.
- (2023b). *Gogoro Página principal*. URL: <https://www.gogoro.com/>.
- González, Jhonattan (2022). *Bogota has 172 New Electric Buses and Charging Infrastructure from Enel X, BYD and Busscar*. URL: <https://latamobility.com/en/bogota-has-172-new-electric-buses-and-charging-infrastructure-from-enel-x-byd-and-busscar/>.
- (2023). *Mexico City: Launch of Electric Metrobus Line 3*. URL: <https://latamobility.com/en/mexico-city-launch-of-electric-metrobus-line-3/>.
- Gunther, Marc (2013). *Better Place the electric car startup*. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2013/mar/05/better-place-wrong-electric-car-startup>.
- Hackbarth A.; Madlener, R (2013). «Consumer preferences for alternative fuel vehicles: A discrete choice analysis.» En: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 25, págs. 5-17. ISSN: 1361-9209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.07.002>.
- Hartmann, Stephanie y Peter Weldon (2021). *Oportunidades y recomendaciones*. Inf. téc., págs. 1-100.
- He, Hui (2021). *China New Energy Vehicle Policies*. URL: [https://movelatam.org/wp-content/uploads/2020/03/China-NEV-policies\\_ICCT\\_For-MOVE\\_vf.pdf](https://movelatam.org/wp-content/uploads/2020/03/China-NEV-policies_ICCT_For-MOVE_vf.pdf).
- Heavy Industry Government of India, Department of (2020). *National Electric Mobility Mission*. URL: <https://emobility.araiindia.com/government-policies/>.
- Hernández, Verónica (2022). *Metrorrey da la bienvenida a 10 buses FOTON*. URL: <https://www.tyt.com.mx/nota/metrorrey-da-la-bienvenida-a-10-buses-foton-mexico>.

- HONDA (2022). *Honda Begins Sales of “Honda Power Pack Exchanger e.” Battery Swapping Station*. URL: <https://global.honda/newsroom/news/2022/p221025eng.html>.
- Hossain, Junaed Al, Zakir Hasan y Ziaur Rahman Khan (2022). «Affordable Electric Three-Wheeler in Bangladesh : Prospects , Challenges , and Sustainable Solutions». En: *Sustainability*, págs. 1-26.
- Ibold, Sebastian, Yun Xia y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (2022). «Overview on Battery Swapping and Battery-as-a-Service (BaaS) in China». En: *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*, págs. 1-17.
- IDTechEx (2022). *Battery Swapping for Electric Vehicles 2022-2032: Technology, Players and Forecasts*. URL: <https://www.idtechex.com/en/research-report/battery-swapping-for-electric-vehicles-2022-2032-technology-players-and-forecasts/868>.
- INEGI (2021). *Cuentas económicas de México 2020*. URL: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/ee/CtasEcmcasEco2020.pdf>.
- INFRAMobility-Dianba (2023). *Facts versus prejudices*. URL: <https://www.infradianba.com/en/fakten-contre-vorurteile/>.
- Ingram, Richard (2022). *Electric car battery swap: NIO network explained*. URL: <https://www.drivingelectric.com/your-questions-answered/41384/electric-car-battery-swap-nio-network-explained>.
- Instituto Mexicano del Transporte (2020). *Estado del arte de la movilidad eléctrica en México*. URL: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt596.pdf>.
- International Energy Agency (2022a). *Global electric car sales have continued their strong growth in 2022 after breaking records last year*. URL: <https://www.iea.org/news/global-electric-car-sales-have-continued-their-strong-growth-in-2022-after-breaking-records-last-year>.
- (2022b). *Global EV Outlook 2022 (IEA)*. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>.
- (2023). *As their sales continue to rise, SUVs’ global CO2 emissions are nearing 1 billion tonnes*. URL: <https://www.iea.org/commentaries/as-their-sales-continue-to-rise-suvs-global-co2-emissions-are-nearing-1-billion-tonnes>.
- IQAir (2021). *World Air Quality Report 2021. Region & City PM2.5 Ranking*. Inf. téc. Goldach, Switzerland, págs. 1-43.
- IRENA (2019). *Innovation landscape brief: Electric-vehicle smart charging*. Inf. téc. Abu Dhabi, págs. 1-24.
- JALISCO, GOBIERNO DE (2013). *Plan estatal de desarrollo Jalisco 2013-2033*. Inf. téc. GOBIERNO DE JALISCO, págs. 1-810.
- Janmarg, Ahmedabad (2019). *Deployment of Electric Buses by Janmarg: Opportunities and Challenges*. Inf. téc. Ahmedabad Janmarg Ltd., págs. 1-23.
- Jeju (2020). *Electric bus operation status in Jeju Province*. Inf. téc. Jeju: Jeju Research Institute, págs. 1-11.

- Juan, L I, X U Jing y Shiju Wang (2018). «Research on the Model and Method of Economic Evaluation of Electric Vehicle Charge and Replacement Facilities». En: *2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)* 1.201805280000271, págs. 2931-2937.
- Kim, Jeongyong, Inho Song y Woongchul Choi (2015). «An electric bus with a battery exchange system». En: *Energies* 8.7, págs. 6806-6819.
- Kojects (2013). *Korean Solution to Electric Power Supply for Public Transport*. URL: <https://kojects.com/2013/04/29/korean-solution-to-electric-power-supply-for-public-transport/>.
- Latamobility (2021). *25 estaciones con sistema Swap & Go y una motocicleta eléctrica de la mano de la empresa 100 % mexicana: Citio*. URL: <https://latamobility.com/25-estaciones-con-sistema-swap-go-y-una-motocicleta-electrica-de-la-mano-de-la-empresa-100-mexicana-citio/>.
- Li, Wenxiang et al. (2018). «Planning of Electric Public Transport System under Battery Swap Mode». En: *Sustainability*, págs. 1-17.
- Lieven, T. (2015). «Policy measures to promote electric mobility—A global perspective». En: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 82, págs. 78-93. ISSN: 0965-8564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.09.008>.
- Liu C., The Japan Times (2023). *One-minute battery swaps are spurring EV adoption in Asia*. URL: <https://www.japantimes.co.jp/news/2023/04/10/business/tech/ev-battery-swap-asia-adoption/>.
- Luna, Tiago Ferrari, Mauricio Uriona-Maldonado y Minelle E. Silvaand Caroline Rodrigues Vaz (2020). «The influence of e-carsharing schemes on electric vehicle adoption and carbon emissions: An emerging economy study ». En: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 79. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102226>.
- Maguey H., GACETA UNAM (2019). *21 mil muertes al año asociadas a la contaminación*. URL: <https://www.gaceta.unam.mx/21-mil-muertes-al-ano-asociadas-a-la-contaminacion/>.
- Mak, Ho-yin, Ying Rong y Zuo-jun Max Shen (2013). «Infrastructure Planning for Electric Vehicles with Battery Swapping». En: *Management Science* 59.7, págs. 1557-1575.
- Maldonado O., MILENIO (2023). *Licitan 98 camiones eléctricos para rutas de Transmetro*. URL: <https://www.milenio.com/politica/metrorrey-licita-98-camiones-electricos-rutas-transmetro>.
- Mares, Fernando (2023). *Mexico City Inaugurates First Fully Electric Metrobus Line*. URL: <https://mexicobusiness.news/infrastructure/news/mexico-city-inaugurates-first-fully-electric-metrobus-line>.
- Matteo, Muratori (2018). *Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand*. URL: <https://www.nature.com/articles/s41560-017-0074-z.epdf>.
- Méndez, Gisela et al. (2018). *Anatomía de la movilidad en México*. Inf. téc. SEDATU, págs. 1-106.

- Metrosaga (2019). *This Bengaluru Startup Has A Better Solution For Turning India's Buses & Autos Into 100 % Electric*. URL: <https://metrosaga.com/this-bengaluru-startup-has-a-better-solution-for-turning-indias-buses-autos-into-100-electric/>.
- MOTORINDIA (2018). *Ashok Leyland unveils India's first swap-battery bus jointly with SUN Mobility*. URL: <https://www.motorindiaonline.in/ashok-leyland-unveils-circuit-s-powered-by-sun-mobilitys-swappable-smart-battery/>.
- Move Latam (2022). *E-BUS RADAR*. URL: <https://www.ebusradar.org/es/>.
- Muller, Joann y Margaret Harding McGill (2022). «The cold hard truth about electric vehicles in winter». En: *Axios* Marzo 4. Acceso en mayo 2023. URL: <https://www.axios.com/2022/03/04/the-cold-hard-truth-about-electric-vehicles-in-winter>.
- Muneer, Tariq et al. (2015). «Energetic, environmental and economic performance of electric vehicles : Experimental evaluation». En: *Transportation Research part D* 35, págs. 40-61. ISSN: 1361-9209. DOI: 10.1016/j.trd.2014.11.015. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2014.11.015>.
- Murillo M., MILENIO (2023). *Con red de tiendas, Oxxo gana clientes a la banca*. URL: <https://www.milenio.com/negocios/oxxo-gana-clientes-banca-red-tiendas>.
- NIO (2014). *NIO Perfil empresarial*. URL: <https://www.linkedin.com/company/nio>.
- Ogunkunbi, G.A., H.K.Y. Al-Zibaree y F Meszaros (2021). «F.Evidence-Based Market Overview of Incentives and Disincentives in Electric Mobility as a Key to the Sustainable Future.» En: *Future Transportation* 1, págs. 290-302. URL: <https://doi.org/10.3390/futuretransp1020017>.
- Omnibus Magazine (2019). *Changing battery module instead of oil. The OMNIplus eMobility service concept*. URL: [https://www.mercedes-benz-bus.com/en\\_DE/brand/omnibus-magazin/ecitaro-omniplus.html](https://www.mercedes-benz-bus.com/en_DE/brand/omnibus-magazin/ecitaro-omniplus.html).
- PASE (2022). *Ecotag Pase 2022*. URL: <https://www.pase.com.mx/promociones/ecotag-pase-2022/>.
- Propfe, Bernd et al. (2012). «Cost analysis of plug-in hybrid electric vehicles including maintenance & repair costs and resale values». En: *World Electric Vehicle Journal* 5.4, págs. 886-895.
- Ramanujam, Mohan K (2022). *Gachaco starts EV battery swapping service in Japan*. URL: <https://paultan.org/2022/03/30/gachaco-starts-ev-battery-swapping-service-in-japan/>.
- Rechene, S.T., M.E. Silva y S.A. Campos (2018). «Sharing economy and sustainability logic: analyzing the use of shared bikes.» En: *BAR - Brazilian Admin. Rev.* URL: <https://doi.org/10.1590/1807-7692bar2018180026>.
- Renault Group (2020). *The champion countries of electric mobility*. Acceso en mayo 2023. URL: <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/the-champion-countries-of-electric-mobility/>.
- Rivas Tovar, L. A. y et al (2007). «Incentivos y desincentivos en los sistemas de transporte público en Londres y Madrid y Ciudad de México.» En: *Innovar* 17.30, págs. 113-132.



- Robles A., Noticias Pasajero 7 (2016). *Línea 3 del sitren, un ejemplo de intermodalidad*. URL: <http://www.pasajero7.com/linea-3-del-sitren-un-ejemplo-de-intermodalidad/>.
- Saldívar, Belén (2022). «Incentivos para nueva política industrial aún se discuten: SHCP.» En: *El Economista*. URL: <https://www.economista.com.mx/empresas/Incentivos-para-nuevapolitica-industrial-aun-se-discuten-SHCP-20220921-0016.html>.
- Sánchez, J. T., J. A. del Río y A. Sánchez (2022). «Economic feasibility analysis for an electric public transportation system: Two cases of study in medium sized cities in Mexico». En: *PLoS one* 17.8, e0272363.
- Sebastián Galarza Transport & Energy Sector Lead, CMM Chile (2020). *Lessons from electric bus deployments in Santiago de Chile*. Acceso en mayo 2023. URL: <https://corporate.enelx.com/es/stories/2019/08/growing-fleet-electric-buses-chile>.
- SEMARNAT (2005). *Norma Oficial Mexicana. NOM-052-SEMARNAT-2005 de Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. acceso en mayo 2023. URL: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>.
- (2018a). *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica - Visión 2030*. Inf. téc. México: Gobierno de la República, págs. 1-16.
- (2018b). *Estrategia nacional de movilidad eléctrica*. URL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395715/%5C-6%5C\\_SEMARNAT%5C\\_EstElectroMovilidad.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/395715/%5C-6%5C_SEMARNAT%5C_EstElectroMovilidad.pdf).
- (2023). *Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA*. URL: <https://sinaica.inecc.gob.mx>.
- SENER (2023). *Cargadores eléctricos*. URL: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/821438/Cargadores%5C\\_El%5C\\_ctricos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/821438/Cargadores%5C_El%5C_ctricos.pdf).
- Soto, Juan Luis (2023). *Carreteras cargantes*. URL: <https://motor.elpais.com/tecnologia/asi-funciona-la-carretera-que-va-recargando-los-coches-electricos/>.
- Suárez, Karina (2022). «El impuesto especial sobre gasolinas, tabacos y refrescos sube a casi un 8 % en 2023». En: *El país*. URL: <https://elpais.com/mexico/2022-12-28/el-impuesto-especial-sobre-gasolinas-tabacos-y-refrescos-suba-a-casi-un-8-en-2023.html>.
- TomTom Traffic Index (2023). *México City traffic report*. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/mexico-city-traffic/>.
- Tulpule, Pinak J et al. (2013). «Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station q». En: *Applied energy* 108, págs. 323-332. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.02.068. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.068>.
- UNECE (2022a). *Global Technical Regulation No. 20: Electric Vehicle Safety (EVS)*. Acceso en mayo 2023. URL: <https://unece.org/transport/standards/transport/vehicle-regulations-wp29/global-technical-regulations-gtrs>.

- (2022b). *Global Technical Regulation Num. 22 In vehicle Battery Durability for Electrified Vehicles*. acceso en mayo 2023. URL: <https://unece.org/transport/standards/transport/vehicle-regulations-wp29/global-technical-regulations-gtrs>.
- (s.f.). *World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations*. URL: <https://unece.org/wp29-introduction>.
- Urzúa, M. (2022). *Mejoran tiempos del trolebús por bus-bici*. URL: <https://www.mural.com.mx/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx>.
- Vallera, A M, P M Nunes y M C Brito (2021). «Why we need battery swapping technology». En: *Energy Policy* 157, pág. 112481. ISSN: 0301-4215. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112481. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112481>.
- Vilathgamuwa, Mahinda et al. (2022). «Mobile-Energy-as-a-Service ( MEaaS ): Sustainable Electromobility via Integrated Energy – Transport – Urban Infrastructure». En: *Sustainability*, págs. 1-16.
- Villegas, Natalia (2022). *Bogotá leads Colombia's shift to electric vehicles*. URL: <https://dialogochino.net/en/climate-energy/54007-bogota-leads-colombia-electric-vehicles-shift/>.
- Voi (2023). *Página principal, Voi*. URL: <https://www.voi.com>.
- Web, Capital 21 (2023). *Línea 3 del Metrobús ya es 100 % eléctrica, estrena 50 autobuses nuevos*. URL: <https://www.capital21.cdmx.gob.mx/noticias/?p=37429>.
- World Economic Forum (2022). *Why electric cars are getting pricier even as batteries get cheaper*. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/why-electric-cars-are-getting-pricier-even-as-batteries-get-cheaper>.
- Yang, Shengjie et al. (2014). «Dynamic operation model of the battery swapping station for EV (electric vehicle) in electricity market». En: *Energy* 65, págs. 544-549. ISSN: 0360-5442. DOI: 10.1016/j.energy.2013.11.010. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.010>.
- Zhang, Caiqing y Panyu Chen (2021). «Economic benefit analysis of battery charging and swapping station for pure electric bus based on differential power purchase policy : a new power trading model». En: *Sustainable Cities and Society* 64.October 2020, pág. 102570. ISSN: 2210-6707. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102570. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102570>.
- Zhang, Qingyu et al. (2013). «Science of the Total Environment Air pollutant emissions from vehicles in China under various energy scenarios». En: *Science of the Total Environment, The* 450-451, págs. 250-258. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.01.098. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.098>.
- ZYNCH (2022). *Página de inicio ZYNCH*. URL: <https://www.zynch.mx>.