

# Proyecto Fin de Máster Ingeniería Industrial

## Estudio sobre la electrificación de vehículos pesados de carretera

Autor: María del Rocío Limón Alonso- Morgado

Tutor: Nils Peter Johan Ingemar Wideberg

**Dpto. De Ingeniería de Materiales y Ciencia de  
los Materiales y del Transporte  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Sevilla, 2022





Proyecto Fin de Máster  
Ingeniería Industrial

# **Estudio sobre la electrificación de vehículos pesados de carretera**

Autor:

María del Rocío Limón Alonso- Morgado

Tutor:

Nils Peter Johan Ingemar Wideberg

Profesor titular de la Universidad

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022



Proyecto Fin de Carrera: Estudio sobre la electrificación de vehículos pesados de carretera

Autor: María del Rocío Limón Alonso-Morgado

Tutor: Nils Peter Johan Ingemar Wideberg

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2022

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*





# Agradecimientos

---

A mi familia, por quererme tanto y acompañarme siempre.

A mis amigos, por disfrutar tanto de la vida.

Y a Dios, que no me suelta de Su mano.



Este proyecto trata de describir el estado del arte actual sobre la electrificación de los vehículos pesados utilizados para transportar carga por carretera, tecnología en vía de desarrollo y actual, sin duda, con mucho futuro por delante, crucial para frenar la emisión de los gases que contaminan las ciudades y provocan el efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra. Para ello, se analiza la problemática que presentan los vehículos tradicionales, se repasan los tipos de vehículos eléctricos que existen en la actualidad, presentando también algunos ejemplos de cada uno. Así también, se habla de la gran infraestructura que es necesario construir para que sea posible la electrificación del transporte, puesto que no sólo nuestros vehículos deben cambiar, también la forma de obtener la energía que precisan para funcionar.



# Abstract

---

This project intends to describe the current state of the art on the electrification of heavy vehicles used to transport goods by road, under development and very current technology, without any doubt, with a long future ahead, crucial to curb the emission of exhaust gases that pollute cities and provokes the greenhouse effect in the Earth's atmosphere. With that propose, all problems presented by traditional vehicles will be analyzed, the types of electric vehicles that currently exist will be reviewed, presenting some examples of each one. Likewise, it will be talked about the great infrastructure that is necessary to build to make electrification of transport possible, since not only our vehicles must change, but also the way of obtaining the energy to make they move.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xviii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xx</b>
<b>Notación</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>25</b>
1. <i>Ejemplo de la problemática. Necesidad de electrificación del transporte pesado según datos de la Columbia Británica</i>	26
2. <i>Retos para la electrificación del transporte pesado</i>	1
2.2. <i>Desafío tecnológico</i>	1
2.3. <i>Desafío económico</i>	3
2.3.1. <i>Incentivos económicos</i>	3
2.3.2. <i>Zonas de bajas emisiones</i>	4
3. <i>Situación actual a nivel mundial con respecto a vehículos eléctricos pesados</i>	7
1.2.1. <i>Estrategias de carga para vehículos eléctricos pesados</i>	8
1.2.2. <i>Registro actual de HDV eléctricos</i>	10
1.3. <i>Principales fabricantes</i>	13
1.3.1. IVECO	13
1.3.2. MAN Truck & Bus	14
<b>2. Clasificación de vehículos eléctricos</b>	<b>17</b>
2.2. <i>Tipos de vehículos eléctricos</i>	17
2.2.1. <i>Vehículo eléctrico de baterías. Battery Electric Vehicle (BEV)</i>	17
2.2.2. <i>Vehículo eléctrico con pila de hidrógeno. Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)</i>	18
2.2.3. <i>Vehículo eléctrico de autonomía extendida. Extender-range electric vehicles (EREV)</i>	19
2.2.4. <i>Vehículo híbrido enchufable. Plug-in hybrid electric vehicles (PHEV)</i>	19
2.2.5. <i>Vehículo híbrido no enchufable. Hybrid electric vehicle (HEV)</i>	20
<b>3. Tendencias para la electrificación del transporte por carretera</b>	<b>21</b>
3.2. <i>Políticas que impulsan la electrificación</i>	21
3.3. <i>Transporte público y mercancías</i>	21
3.4. <i>Respuestas de los fabricantes de automóviles</i>	23
3.5. <i>Desafíos para la electrificación del transporte por carretera</i>	23
3.5.1. <i>Baterías adecuadas</i>	23

3.5.2.	Gestión de carga	24
3.5.3.	Reciclaje de batería, segunda vida y reemplazo de baterías asequible	35
3.5.4.	Estandarización de vehículos eléctricos	36
3.5.5.	Educación técnica.	36
<b>4.</b>	<b>Electrificación directa o indirecta. Análisis de escenarios para Alemania en 2050</b>	<b>37</b>
4.2.	Introducción	37
4.3.	Escenarios energéticos revisados	38
4.3.1.	Criterios de comparación	38
4.3.2.	Método de evaluación	39
4.3.3.	Resultados del estudio	39
4.3.4.	Tecnologías de electrificación	43
4.4.	Conclusiones del estudio	44
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>46</b>
	<b>Referencias</b>	<b>47</b>
	<b>Glosario</b>	<b>51</b>





# ÍNDICE DE TABLAS

---

<i>Tabla 3-1. Comparación entre utilizar un vehículo con capacidad bidimensional solo como medio de transporte o como medio de transporte y almacenamiento de carga. Fuente: Zeccar .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3-2. Degradación de la batería del vehículo eléctrico después de ocho años. Fuente: Zecar .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 4-1. Estudios considerados en el análisis. Fuente: Elsevier .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4-2. Eficiencias de conversión de los combustibles sintéticos asumidos por los escenarios considerados para el análisis. Fuente: Elsevier .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4-3. Aumento de eficiencia en el transporte por carretera con vehículos en el año 2050, considerando los estudios de este análisis. Fuente: Elsevier .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4-4. Aumento de eficiencia de las tecnologías del transporte de camiones en 2050, considerando los escenarios de este análisis. Fuente: Elsevier .....</i>	<i>44</i>



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>Figura 1-1. Tesla Model 3. Fuente: Google Imágenes</i>	25
<i>Figura 1-2. Porcentaje emisiones de GEI según sector. Fuente: El sevier</i>	27
<i>Figura 1-3. Nikola Tre, primer modelo de camiones con batería de Nikola. Fuente: Google Imágenes</i>	2
<i>Figura 1-4. Flex 180 kW. Fuente: Heliox Energy</i>	3
<i>Figura 1-5. Zona de Emisiones Ultra Bajas (ULEZ) de Londres. Fuente: Transport for London</i>	4
<i>Figura 1-6. Madrid Zona de Bajas Emisiones (ZBE). Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Madrid</i>	5
<i>Figura 1-7. Área que comprende la 'Zona de Bajas Emisiones de la Cartuja', en Sevilla. Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Sevilla</i>	6
<i>Figura 1-8. Definición de las etiquetas que portan los vehículos que tienen permitida la circulación en la ZBE de la Cartuja. Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Sevilla</i>	6
<i>Figura 1-9. Zona de Bajas Emisiones de Barcelona. Fuente: Motorpasion</i>	7
<i>Figura 1-10. Estación de intercambio de baterías para camiones eléctricos ideada con Geely. Fuente: Somos Eléctricos</i>	9
<i>Figura 1-11. Estación de intercambio de baterías ideada por NIO. Fuente: Página web NIO</i>	9
<i>Figura 1-12. Carretera electrificada por un sistema de catenarias, proyecto colaborativo de Siemens y Scania. Fuente: Híbridos y eléctricos</i>	10
<i>Figura 1-13. Autobuses y camiones eléctricos en expansión. Fuente: Iea</i>	11
<i>Figura 1-14. Matriculación y porcentaje de ventas de autobuses eléctricos por país, entre los años 2015 y 2021. Fuente: Iea</i>	12
<i>Figura 1-15. Matriculación y porcentaje de ventas de autobuses eléctricos por país, entre los años 2015 y 2021. Fuente: Iea</i>	13
<i>Figura 1-16. e-Truck. Fuente: MAN</i>	15
<i>Figura 2-1. Scania 25P BEV. Fuente: Solo camión</i>	18
<i>Figura 2-2. Nikola Tre FCEV. Fuente: Nikola Motor</i>	19
<i>Figura 3-1. eActros, primer camión eléctrico pesado, fabricado por Mercedes-Benz. Fuente: Car and driver</i>	22
<i>Figura 3-2. Camión Semi de Tesla. Fuente: Soy motor</i>	23
<i>Figura 3-3. Primera estación de carga de vehículos pesados, Gotemburgo, Suecia. Fuente: Portal portuario</i>	25
<i>Figura 3-4. La empresa nacida del acuerdo de colaboración, pretende operar al menos en 1700 puntos de recarga. Fuente: Cadena de Suministro</i>	26

<i>Figura 3-5. Necesidades de energía en para estaciones de carga de camiones en carretera. Fuente: Híbridos y eléctricos.</i>	27
<i>Figura 3-6. Ejemplo de recarga secuencial. Fuente: ABB web</i>	28
<i>Figura 3-7. Ejemplo de carga en paralelo. Fuente: ABB web</i>	29
<i>Figura 3-8. El conector se mostró instalado en un cargador Alpitronic y en un camión eléctrico Scania, que pudo ser recargado, durante el propio evento, a una potencia de hasta 1 MW. Fuente: Electrive</i>	30
<i>Figura 3-9. Gestión de carga unidireccional y gestión de carga bidireccional. Fuente: Zecar</i>	31
<i>Figura 3-10. Cómo utilizar un vehículo eléctrico como batería. Fuente: Zecar</i>	32
<i>Figura 3-11. Usar un vehículo eléctrico como batería reduce el consumo de energía. Fuente: Zecar.</i>	34
<i>Figura 4-1. Consumo de electricidad para el calor y el transporte por carretera, considerando el calor de ...</i>	40
<i>Figura 4-2. Consumo de electricidad para electrificación directa e indirecta, incluyendo procesos industriales (izquierda) y excluyéndolos (derecha). Fuente: Elsevier</i>	41
<i>Figura 4-3. Porcentaje de electrificación directa a indirecta y de electrificación total (líneas grises) relacionados con la energía útil en transporte de automóviles (izquierda) y en transporte de camiones (derecha). Fuente: Elsevier</i>	42
<i>Figura 4-4. Porcentaje de combustibles sintéticos relacionados con la energía útil en transporte de automóviles (izquierda) y de camiones (derecha). Fuente: Elsevier</i>	43



# Notación

---

GEI	Gases de Efecto Invernadero
BNEF	Bloomberg NEF
EPA	Encuesta de Población Activa
UE	Unión Europea
EV	Electric Vehicle (vehículo eléctrico)
JV	Joint Venture (¿)
HDV	High Duty Vehicle
ZBE	Zona de Bajas Emisiones





# 1 INTRODUCCIÓN

---

Debido a la creciente escasez de los combustibles fósiles que impulsan nuestros vehículos y a los gases de efecto invernadero derivados de la combustión que estos generan, en los últimos años ha crecido el uso del vehículo eléctrico. Desde el año 2020, el transporte ha sido el mayor contribuyente de las emisiones de gases de efecto invernadero en Estados Unidos, lo cual representa el 27% de las emisiones totales, según la EPA. Los vehículos de carga pesados, representaron aproximadamente una cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte.

El uso del vehículo eléctrico, sin embargo, varía según el país, puesto que su demanda depende de su precio, de la disponibilidad de infraestructura para su carga y los incentivos de compra y regulación de emisiones establecidos. La electrificación del automóvil está siendo influenciada favorablemente gracias a la mejora tecnológica, las ayudas públicas y la conciencia, cada vez mayor, sobre el cambio climático y la calidad del aire de la atmósfera.

En los últimos siete años, el número de coches eléctricos puros en todo el mundo ha pasado de 400.000 unidades a siete millones. El aumento de autonomía ha sido el factor clave que ha hecho posible este aumento. Asia, la región con más ventas de vehículos eléctricos a nivel mundial, presenta un total de 1,03 millones de unidades, habiendo sido el crecimiento de ventas de un 108% en el año 2021, siendo el modelo más vendido el Tesla Model 3. Por otro lado, Europa cuenta únicamente con 544.207, siendo Alemania el país europeo que cuenta con la mayor flota de vehículos eléctricos.



*Figura 1-1. Tesla Model 3. Fuente: Google Imágenes*

El objetivo a medio y largo plazo de la Comisión Europea es sustituir los vehículos tradicionales de combustión interna, aquellos cuya fuente de energía es la gasolina, el gas natural o el diésel, por un transporte sostenible y eléctrico. Los vehículos pesados de carretera, tales como camiones o furgonetas,

pertenecen a un sector clave a la hora de avanzar con la descarbonización del transporte por carretera, de cara a un futuro con emisiones reducidas de GEI. En el año 2020, el transporte fue el mayor contribuyente de las emisiones de gases de efecto invernadero en los EE. UU., lo que representa el 27% de las emisiones totales, según la EPA. Y los vehículos grandes, desde camiones de basura hasta camiones de plataforma y remolques, representaron aproximadamente una cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte. Estos vehículos eléctricos pesados presentan las siguientes ventajas frente a los vehículos de carga tradicionales:

- **Emisiones reducidas.** Al no emitir gases contaminantes son más respetuosos con el medio ambiente.
- **Ahorro de costes.** El mantenimiento de los camiones eléctricos es menor frente a los de combustión interna, así como el precio del combustible, que presenta una tendencia al alza cada vez mayor.
- **Menor ruido.** Los camiones eléctricos son más silenciosos que los que combustión interna, lo que los hace más adecuados para entregas en áreas urbanas o en horas nocturnas.
- **Mejor aceleración.** Esta es una característica común a todos los vehículos eléctricos; al disponer de potencia eléctrica instantánea, se acelera más rápido que en los vehículos de combustión interna.

## 1. Ejemplo de la problemática. Necesidad de electrificación del transporte pesado según datos de la Columbia Británica

En la Columbia Británica, al oeste de Canadá, el 25% del total de las emisiones derivadas de gases de efecto invernadero (GEI) corresponde al transporte por carretera, siendo más de la mitad de estas emisiones derivadas del transporte de mercancías.

Examinando el potencial de los camiones de carga completamente eléctricos que serían necesarios para lograr una reducción del 64% de los GEI en 2040, se concluye que, incluso con grandes eficiencias de combustible en camiones convencionales, no se logrará reducir de forma constante las emisiones. De esta forma, más del 65% de los camiones usados para transportar mercancías tendrían que funcionar con cadenas cinemáticas (recordemos que se denomina cadena cinemática a conjunto de elementos que producen movimiento y proporcionan al mismo tiempo la fuerza de tracción necesaria trasladando el movimiento a las fuerzas motrices) completamente eléctricas, lo cual conllevaría en una introducción al 100% de estas en el sector en 2025. Se evalúa también en este punto los recursos energéticos disponibles en la región para la penetración masiva en el mercado de los camiones eléctricos, concluyendo que, por cada 1% de GEI reducido que corresponde al transporte de mercancías por carretera, se requiere entre el 1,5% y el 3,8% de generación hidroeléctrica adicional para 2040. Es decir, una reducción del 64% requiere entre 12 y 33 TWh de electricidad adicionales. Por tanto, ya que se sale fuera de la generación prevista en la Columbia Británica, serían necesarias nuevas políticas que apoyen la generación de electricidad renovable y la baja emisiones de GEI.

Como se muestra en la gráfica, el sector de transporte representa la mayor parte de las emisiones totales de efecto invernadero (GEI) en la Columbia Británica, siendo dos tercios de estas emisiones producidas por vehículos de carretera.

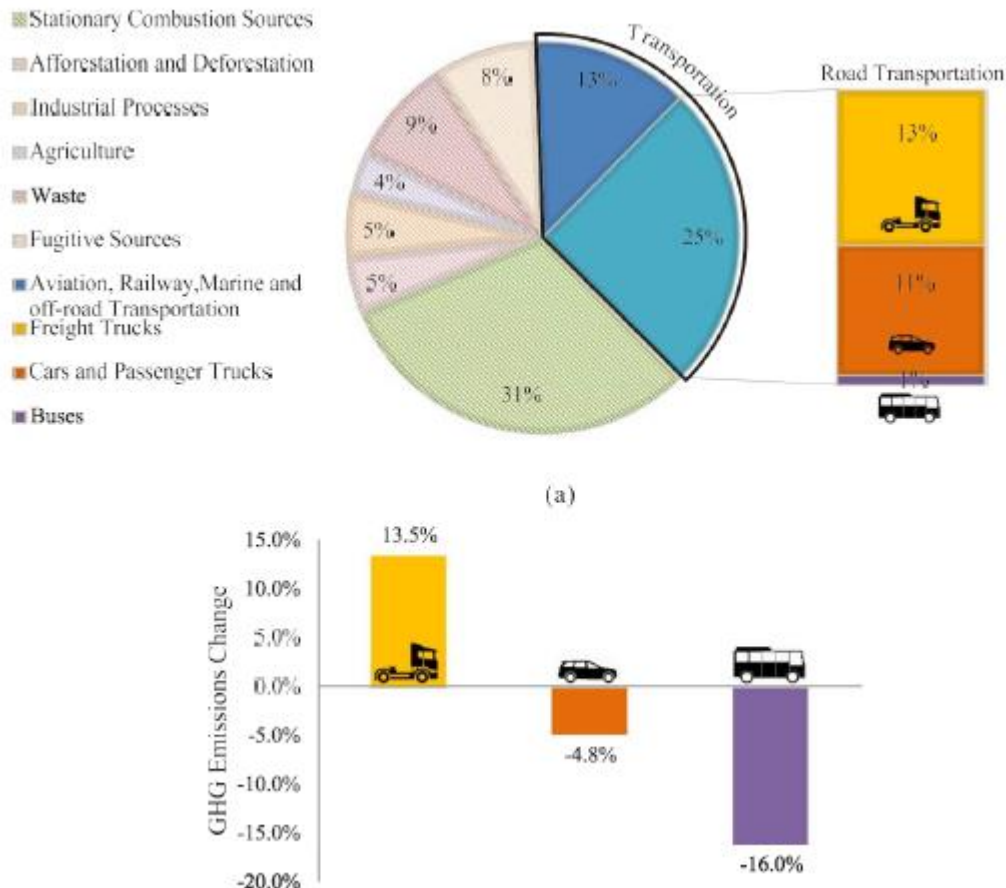


Figura 1-2. Porcentaje emisiones de GEI según sector. Fuente: El sevier

El transporte por camión ha contribuido en gran medida al transporte por carretera, registrándose un aumento del 13,5% de las emisiones de GEI desde 2007. Estos colaboran con la producción de contaminantes atmosféricos críticos, como partículas, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) o los compuestos orgánicos volátiles (COV), todos ellos perjudiciales para la salud humana y la calidad del aire.

El gobierno de la Columbia Británica tiene como objetivo una reducción del 80% de las emisiones de GEI registradas en 2007 para el año 2050, según el Plan de Acción Climática de la región. Debido a la relación directa del número de camiones de carga y el PIB, puede resultar complicado garantizar el crecimiento económico y la reducción de emisiones en el sector de los camiones de transporte. Asumiendo la reducción del 80% de las emisiones GEI para el transporte de mercancías por carretera, se requerirán emisiones menores de 1,88 MtCO<sub>2</sub> eq en 2050, dato que contrasta con los 10,56 MtCO<sub>2</sub> eq registrados en 2014. De esta forma, se plantean diferentes maneras de reducción de emisiones GEI.

Por un lado, se puede mejorar la eficiencia de la logística empleada en el transporte de mercancías, procurando maximizar la capacidad de los vehículos, estandarizando las instalaciones y equipos empleados o usando medios de transporte más eficientes desde el punto de vista energético, como el ferrocarril. Desde un punto de vista más técnico, se precisan mejoras en la eficiencia de los camiones de combustión interna. Ya en 2013, Canadá comenzó a regularizar las emisiones de gases de efecto invernadero en carretera de los camiones de transporte con motor de combustión interna. Aunque la legislación se centraba en la eficiencia del combustible de los camiones de gasolina o diésel convencionales, también se han presentado alternativas a estos combustibles, bajos en carbono.

Algunos como las mezclas de combustibles, etanol de maíz y grano y biodiésel de canola, ya se mezclan con combustibles derivados del petróleo. Sin embargo, el uso de ellos puede dar lugar a emisiones adicionales de GEI y problemas en torno a la seguridad alimentaria y el mantenimiento de la biodiversidad, lo cual dificulta el avance hacia la reducción de los GEI en 2050 por esta vía.

Es por esto que los combustibles no renovables con bajo contenido en carbono, como el **GNC**, el **GNL** y el **propano**, se consideran ahora con mayor interés. La Ley de Energía Limpia de la Columbia Británica sugiere el aumento del mercado del gas natural, aumentando el uso de camiones medianos y que consumen gas natural, reduciendo los costes de combustible por kilómetro. Este tipo de caminos pueden reducir las emisiones de GEI hasta un 20% con respecto a los que consumen gasolina o diésel. Sin embargo, los beneficios del uso del gas natural dependen en gran medida del ciclo de vida del metano. Los motores de gas natural enriquecidos con hidrógeno, HCNG, es otra tecnología que ofrece un ahorro de combustible y, por tanto, una reducción del efecto invernadero. Sin embargo, la implementación de la mezcla correcta entre el metano y el hidrógeno con la infraestructura actual de GNC, dificulta la adaptación de esta tecnología, además del aumento de los NO<sub>x</sub> derivados del uso de esta tecnología.

Es por eso que la electrificación del transporte por carretera es, sin duda, el camino para reducir a gran escala los GEI, ya que ofrece un potencial de emisiones cero si la energía se genera a partir de recursos renovables.

## 2. Retos para la electrificación del transporte pesado

Cuando se trata de electrificar el transporte de carga pesada, camiones, camionetas o autobuses, la complejidad se hace mayor. BNEF, ya ha predicho que tan solo el 35% de las ventas de vehículos pesados y medianos serán de cero emisiones para 2040. Para alcanzar el objetivo de cero emisiones para el año 2050, el 95% de los vehículos medianos y pesados deben estar electrificados.

Los vehículos de dos y tres ruedas, así como los vehículos de pasajeros, tienen grandes posibilidades para alcanzar el escenario objetivo de cero emisiones en 2050. Por el contrario, el sector del transporte pesado, están muy lejos de esto, por lo que su electrificación se presenta como un gran reto. Ni siquiera la demanda de vehículos eléctricos y los beneficios económicos para los propietarios de flotas que optan por un cambio hacia la modalidad eléctrica, están creando aumentos significativos en las ventas de vehículos eléctricos comerciales ligeros y de pasajeros. Además, incluso a medida que aumenta la producción de estos vehículos eléctricos, las opciones para vehículos medianos y pesados siguen siendo escasas y caras, puesto que requieren una tecnología avanzada para la fabricación de las baterías, así como capacidades de carga específicas.

### 2.2. Desafío tecnológico

Gran parte de este tema proviene de la tecnología de las **baterías**. Es obvio que, si los vehículos son más grandes, las baterías también serán más grandes. Nikolas Soulopoulos, jefe de investigación de transporte comercial de BNEF, afirmó que “los camiones grandes tienen diferentes requisitos de potencia y carga, por lo que, la ingeniería de las baterías y el precio correcto de estas es uno de los grandes problemas”.

Debido a que se necesita un desarrollo adicional para las baterías de camiones y, además, estas baterías no se producen a la misma escala que las de los vehículos de pasajeros, las baterías empleadas en la electrificación de camiones son actualmente entre 2 y 3 veces más caras que las baterías de los vehículos de pasajeros. A pesar de ello, ya son muchos los camiones totalmente eléctricos que han comenzado a llegar al mercado, como los ofrecidos por Volvo, Freightliner, Kenworth, Peterbilt, BYD y Lion Electric que también ofrecen camiones medianos a batería en EE.UU. También la *startup* de vehículos eléctricos Nikola y Tesla, con su modelo *Semi*, están vendiendo unidades de camiones eléctricos en el mercado. El Nikola Tre, primer modelo de camiones con batería de Nikola, mostrado en la imagen, cuenta con una capacidad de batería de 753 kWh, lo cual le proporciona una autonomía de 563 km.



*Figura 1-3. Nikola Tre, primer modelo de camiones con batería de Nikola. Fuente: Google Imágenes*

El **sistema de carga** del vehículo también presenta un obstáculo considerable, ya que los camiones recorren muchos kilómetros al día, por vías urbanas e interurbanas. La necesidad de una infraestructura robusta, que incluya cargadores de alta potencia, es crucial para dotar a el transporte eléctrico pesado de la autonomía necesaria para que sea rentable y competitivo. Las estaciones de carga eléctricas, en lugares donde se recorran largas distancias, como autopistas, tendrían que alcanzar una capacidad de varios camiones grandes cargándose simultáneamente. Actualmente, sin embargo, los cargadores más potentes de vehículos de pasajeros oscilan entre los 50 kW y los 350 kW.

A pesar de que los fabricantes de camiones construyen sus vehículos y baterías, es necesario comenzar a construir la infraestructura que se precisa para que el transporte eléctrico. Está claro que a estas estaciones les queda mucho por recorrer y mucho por definir, y que hasta que ese paso no este dado, el transporte eléctrico no tendrá el impulso que necesita. Sin embargo, ya empresas como Heliox y TeraWatt Infraestructura están construyendo estaciones de carga de alta potencia para flotas de vehículos eléctricos pesados y medianos.

Por ejemplo, Flex 180 kW, una solución ofrecida por Heliox para una carga más versátil, que carga en 37 minutos las potencia que necesita un camión eléctrico para recorrer una distancia de 100 kilómetros. Es compatible con cualquier vehículo compatible con CCS, y puede cargar un solo vehículo o tres a la vez a 60 kW, o de forma dinámica a 60/120/180 kW por conector de carga.



*Figura 1-4. Flex 180 kW. Fuente: Heliox Energy*

También Tesla está desarrollando un cargador de más de 1 MW, presionando al gobierno federal, junto con otras empresas de vehículos eléctricos, para que utilice parte de los 7500 millones de dólares de carga de la ley de infraestructura bipartidista para construir infraestructura específicamente para vehículos medianos y pesados.

### **2.3. Desafío económico**

Dado que las opciones eléctricas para vehículos medianos y pesados siguen siendo más caras que las equivalentes en diésel, es necesaria la acción de los gobiernos la que puede impulsar la descarbonización del transporte a corto plazo, y así conseguir el objetivo de reducción de emisiones para 2050.

#### **2.3.1. Incentivos económicos**

De esta forma, algunas medidas para fomentar la adopción de vehículos eléctricos, podrían ser incluir cupones o exención de tarifas de registro para dichos vehículos de servicio mediano y pesado que ayuden a subsidiar el precio más alto que supone su adquisición. Por ejemplo, California tiene un proyecto de incentivo de vales para camiones y autobuses híbridos y de cero emisiones (HVIP) que proporciona fondos para autobuses eléctricos y ciertos camiones con remolque. Así, californianos que tengan rentas más bajas y cumplan ciertos requisitos establecidos por el Proyecto de Reembolso para Vehículos Limpios que entró en vigor el marzo de 2010, recibirán un reembolso de 7500 dólares por la compra de un vehículo eléctrico de batería o de pila de combustible y de 6500 dólares por los híbridos enchufables, fomentando de esta forma la compra de dichos vehículos. Esto es debido al alto

coste que supone la adquisición de un vehículo eléctrico, casi 67000 dólares, lo cual está muy fuera del alcance de los ciudadanos que tienen rentas más modestas. Así, dado que California prohíbe la venta de todos los vehículos nuevos con motor de combustión interna para 2035, el Estado pretende fomentar la adopción de vehículos y camiones de cero o bajas emisiones en un número cada vez mayor estableciendo medias como esta, que incentiven a los ciudadanos a decantarse por opciones de transporte más limpias.

### 2.3.2. Zonas de bajas emisiones

Por otro lado, la implementación de zonas de bajas emisiones o de cero emisiones supone también una opción para el fomento del transporte electrificado. Este tipo de medidas, encarecen los vehículos más contaminantes al cobrar una tarifa a los camiones diésel más antiguos para que circulen por estas áreas. Ya en 2019 se implementó en Londres una Zona de Emisiones Ultra Bajas (ULEZ) que funciona 24 horas al día y los 7 días de la semana, en el centro de la ciudad, zona que gradualmente se ha ido expandiendo. Esta zona cubre actualmente todas las áreas dentro de las Carreteras Circulares Norte y Sur, mientras que las carreteras North Circular (A406) y South Circular (A205) no están en la zona. Si un vehículo no cumple con los estándares de emisión de la ULEZ, y no está exento por ninguna razón, debe pagar una tasa diaria de £12.50 para conducir dentro de la zona. Esta legislación aplica a automóviles, motocicletas, furgonetas y vehículos especializados (hasta 3,5 toneladas inclusive) y minibuses (hasta 5 toneladas inclusive).

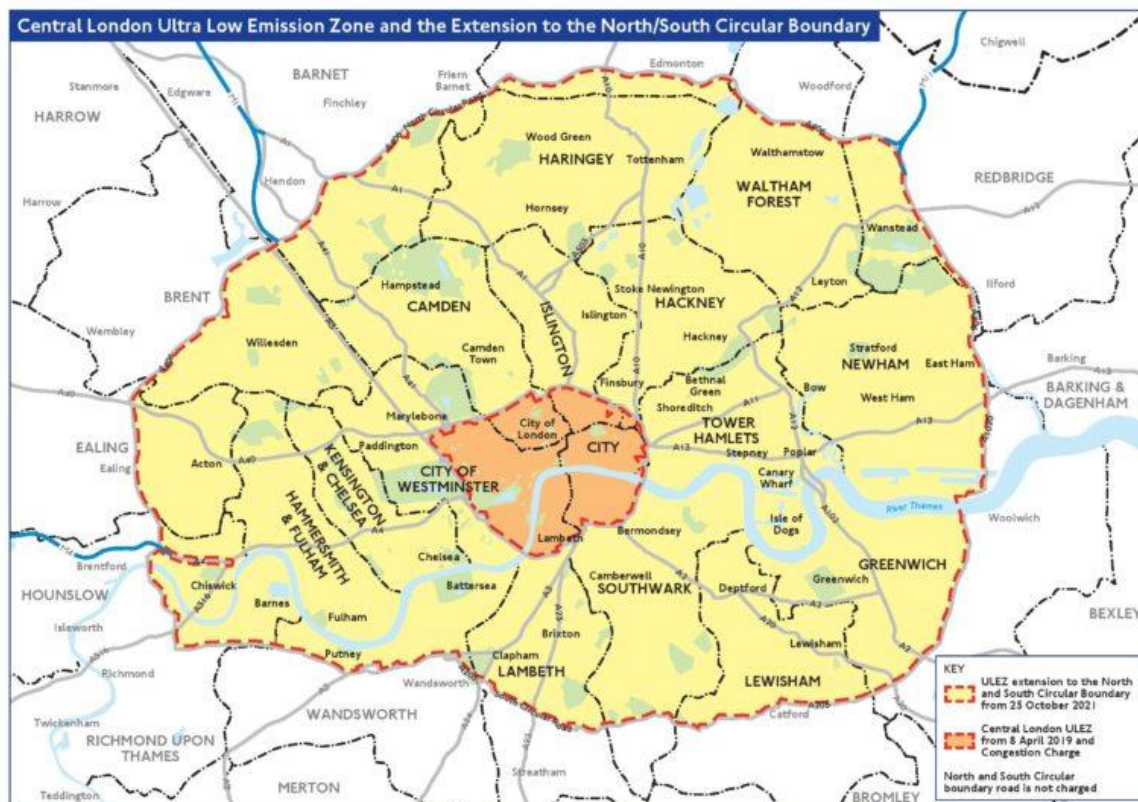


Figura 1-5. Zona de Emisiones Ultra Bajas (ULEZ) de Londres. Fuente: Transport for London



Sin embargo, los camiones, furgonetas o vehículos pesados especializados (todos de más de 3,5 toneladas) y los autobuses, minibuses y autocares (todos de más de 5 toneladas) no tienen que pagar la tasa ULEZ. Tendrán que pagar el cargo LEZ si no cumplen con el estándar de emisiones de la Zona de Baja Emisión (LEZ), diferentes para este tipo de vehículos.

A partir del 29 de agosto de 2023 la Zona de Emisiones Ultra Bajas de Londres se pretenden expandir por todos los distritos de Londres, con el propósito de limpiar el aire de la ciudad y mejorar la salud de las ciudades, ya que la mala calidad del aire está afectando la salud de los londinenses, y se debe principalmente a la contaminación que provocan los vehículos.

También en Madrid, se creó ‘Madrid Zona de Bajas Emisiones’ (ZBE), uno de los aspectos más relevantes de la Ordenanza de Movilidad Sostenible, que establece límites de dióxido de nitrógeno según la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera y el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. De esta manera, ‘Madrid Zona de Bajas Emisiones’ (ZBE) prohíbe el acceso y la circulación a todos aquellos vehículos que presentan una clasificación ambiental A en el Registro de Vehículos de la Dirección General de Tráfico.



Figura 1-6. Madrid Zona de Bajas Emisiones (ZBE). Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Madrid

Para facilitar la adaptación de la ciudad a esta legislación, la Ordenanza de Movilidad Sostenible establece varias etapas, que gradualmente aumentarán la exigencia de las restricciones.

El pasado 1 de enero de 2023, entro en vigor la limitación de acceso de vehículos contaminantes en Sevilla, en la ‘Zona de Bajas Emisiones de la Cartuja’, área sevillana a la que acceden al día unos 24000 trabajadores. A pesar de que las medidas tienen un período de implantación de 18 meses, los primeros estarán dedicados a la conciliación y la información. Los puntos de entrada y salida están señalizados y se establecen controles ordinarios mientras concluye la implantación del sistema electrónico que se encargará del control, mediante la lectura de la matrícula del vehículo, puesto que este ya remite al distintivo ambiental que lo caracteriza, sin ser necesario llevar una etiqueta adicional.

Algunos vehículos que no cumplan con los requisitos ambientales para acceder a la ‘Zona de Bajas Emisiones de la Cartuja’ podrán acogerse al permiso de acceso de excepciones.



Figura 1-7. Área que comprende la ‘Zona de Bajas Emisiones de la Cartuja’, en Sevilla. Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Sevilla

En la Figura, se muestran las calles en las que es aplicable dicha legislación, en las zonas norte y sur de la Cartuja. A diferencia de Madrid, las restricciones únicamente son válidas de lunes a viernes, no festivos, de 7:00 a 19:00, no aplicando por ahora en el resto del horario y de días.

Los vehículos que tienen permitida la circulación y el estacionamientos en la ZBE sevillana son aquellos que cuentan con el distintivo ‘0 EMISIONES’, ‘ECO’, ‘C’ o ‘B’.



Figura 1-8. Definición de las etiquetas que portan los vehículos que tienen permitida la circulación en la ZBE de la Cartuja. Fuente: Portal web del Ayuntamiento de Sevilla

Desde el punto de vista del transporte pesado, muchas han sido las protestas derivadas de estas restricciones. En la ZBE de Barcelona, que comprende un área de 95 km<sup>2</sup> y una franja horaria de 7:00 a 20:00 de lunes a viernes, camiones que no cuenten con las etiquetas de la Figura anterior, no podrán circular. Los coches y motos que no cuentan con dichas etiquetas ya tenían prohibida la circulación desde enero de 2020. Cuando se instauró la ZBE, ya se adelantó que todos los vehículos pesados tenían un destino similar. Los camiones y autocares sin distintivo ambiental, son aquellos cuya mecánica es anterior a la norma Euro 4, normalmente aquellos matriculados antes de 2006.



Figura 1-9. Zona de Bajas Emisiones de Barcelona. Fuente: Motorpasion

Según señala a la Asociación General de Autónomos de Cataluña (AGTC) se prevee que dichas restricciones hagan que entre 6000 y 7000 camiones no puedan prestar servicio en la ZBE, casi la mitad de los camiones de la ciudad. Además, el sector del transporte sugería que el rechazo de los vehículos pesados fuera por antigüedad en lugar de por emisiones, reclamando la homogeneidad de los filtros y catalizadores, con el propósito de evitar tener que cambiar el vehículo.

### 3. Situación actual a nivel mundial con respecto a vehículos eléctricos pesados

En 2021, las matriculaciones de camiones y autobuses pesados aumentaron en Europa, China y Estados Unidos. Las ventas de autobuses eléctricos aumentaron un 40% con respecto al año anterior, y las ventas globales de camiones eléctricos pesados se duplicaron con creces con respecto a los volúmenes de 2020, mientras que los volúmenes de ventas de camiones totales se mantuvieron aproximadamente al mismo nivel que el año anterior. Un total de más de 14.200 camiones eléctricos pesados vendidos en 2021, lo que se traduce únicamente en el 0,3% de la totalidad de camiones vendidos a nivel mundial.

Por otro lado, en 2021, se contaba con un total de 670.000 de autobuses eléctricos era y el stock de camiones eléctricos pesados era de 66.000. Esto representa aproximadamente el 4% de la flota mundial de autobuses y el 0,1 % de camiones pesados.

De esta manera, la disponibilidad de vehículos eléctricos pesados continúa creciendo en los principales mercados del mundo. La expansión del mercado en este sector, así como el apoyo político, ha conseguido establecer una base sólida para el crecimiento de ciertos mercados, como el de los autobuses eléctricos urbanos. El despliegue inicial de los vehículos eléctricos pesados (HDV) en este tipo de aplicaciones puede ayudar a generar la confianza y familiaridad con el producto necesarias para llegar a su popularidad. Demostrar los beneficios económicos y sociales, como la disminución del ruido o de la contaminación del aire, en las primeras aplicaciones es lo que llevará a su implementación posterior, donde se avanzará tecnológicamente y se pondrá en marcha la infraestructura necesaria para la puesta a punto de otras aplicaciones de más dificultad, como el transporte logístico de mercancías, autobuses escolares, camiones de basura o camionetas de mensajería urbana. El objetivo es hacer que las aplicaciones que requieren distancias largas por recorrer sean aplicaciones rentables y, por tanto, alcanzables.

### 1.2.1. Estrategias de carga para vehículos eléctricos pesados

La recarga en una estación eléctrica, mantiene el coste bajo al cargar a **velocidades lentas**, a menudo durante la noche. Es el método más utilizado por los vehículos comerciales, independientemente del ciclo de trabajo y la aplicación. Sin embargo, la disponibilidad de carga a **velocidades más altas** en autopistas o carreteras no deja de ser necesaria, para recorridos más largos, regulares y predecibles, como lanzaderas, transporte público o autobuses escolares. Las aplicaciones con rutas muy variables, como furgonetas de reparto urbano, también pueden beneficiarse de la carga en cargadores públicos disponibles en las ciudades, por ejemplo, mientras los conductores se toman un descanso.

La disponibilidad de una **carga muy rápida** en autopistas es fundamental para proporcionar la flexibilidad y la autonomía que precisan los camiones eléctricos que operan en la región y que hacen largas travesías. Dados los elevados costes de construcción e integración en la red, la rentabilidad de una infraestructura de recarga muy rápida de más de 350 kW, o incluso de más de 1 MW, puede ser incierta, especialmente en los primeros años de despliegue del mercado de vehículos eléctricos de alta gama. Esta incertidumbre, junto con los largos plazos de entrega y los requisitos de inversión necesarios para la capacidad de carga de estos vehículos, son grandes desafíos. Las políticas y medidas para apoyar el desarrollo de redes de recarga pueden tener una influencia importante en el despliegue eficaz de la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos, incluidos los vehículos pesados. Se requiere una planificación estratégica para optimizar el diseño y el desarrollo de forma que sea compatible con las necesidades operativas de los vehículos pesados.

Otras opciones para suministrar energía a los HDV eléctricos es el **intercambio de baterías**. Varias empresas chinas, como CATL, Foton New Energy Vehicle, Geely, China Energy Investment Corporation y Qiyuan Motive Power, están llevando a cabo proyectos piloto de **estaciones de intercambio de baterías**. Estas pruebas incluyen operaciones de intercambio de baterías para flotas de entre decenas y centenares de vehículos pesados, que operan en corta distancia, como los de reparto urbano y regional. El gobierno chino ha dado instrucciones para realizar pruebas piloto de intercambio de baterías en ocho ciudades. Tres de ellas, se centrarán en el intercambio para vehículos pesados, con el propósito de aumentar el número de camiones que utilicen el intercambio de baterías en los próximos años.



Figura 1-10. Estación de intercambio de baterías para camiones eléctricos ideada con Geely. Fuente: Somos Eléctricos

NIO, es la empresa pionera en estos sistemas de intercambio de baterías, con sus denominadas *Swap Station 2.0.*, donde en pocos minutos es capaz de sustituir la batería de los coches eléctricos NIO por una batería completamente cargada.



Figura 1-11. Estación de intercambio de baterías ideada por NIO. Fuente: Página web NIO

Las estaciones de recarga eléctrica en carreteras pueden transferir energía a un camión a través de bobinas inductivas, de conexiones conductoras entre el vehículo y la carretera o también mediante catenarias (líneas aéreas). Las **catenarias**, que permitirían la carga en movimientos, favorecerían la flexibilidad operativa de las operaciones logísticas, y serían muy competitivas en términos de coste total y costes operativos, en comparación, con la carga muy rápida, donde la validez en el mercado se evalúa mediante los costes y las capacidades de las baterías para los vehículos pesados.



*Figura 1-12. Carretera electrificada por un sistema de catenarias, proyecto colaborativo de Siemens y Scania.  
Fuente: Híbridos y eléctricos*

En las pruebas de sistemas de catenaria instalados por Siemens con camiones Scania se han utilizado en operaciones reales de transporte en autopistas alemanas, las conocidas *Autobahn* que carecen de límite de velocidad. Desde principios de 2019 se ha llevado a cabo este proyecto, en el que los camiones eléctricos pueden acoplarse en la carretera a una catenaria para cargar sus baterías, sin necesidad de cargar en una estación para hacerlo. A día de hoy, hay 15 camiones utilizan tres sistemas de 13 km de longitud. Alemania ya ha anunciado la intención de desplegar cientos de kilómetros de autopista equipados con catenarias, utilizadas junto a la recarga y el repostaje estacionarios a lo largo del país. También Reino Unido quiere probar un sistema de catenarias para camiones pesados. Algunos países europeos, como Francia y los Países Bajos, han encargado estudios sobre la viabilidad económica y el impacto ambiental de estos sistemas, así como los potenciales riesgos que pueda tener con respecto al tráfico. La catenaria, y otras soluciones de carga dinámica, cuentan con la ventaja de funcionar en más vehículos de propulsión de cero emisiones (es decir, PHEV, BEV o FCEV) equipado con un pantógrafo u otros componentes de transferencia de energía a bordo.

### 1.2.2. Registro actual de HDV eléctricos

En este apartado se detallará el número de matriculaciones de vehículos eléctricos pesados, autobuses y camiones. A continuación, en la figura, se muestra los principales modelos de este tipo de vehículos que se encuentran actualmente en expansión, en diferentes zonas del mundo.

Current and announced zero emissions commercial vehicle models by type, release date and range, 2019-2023

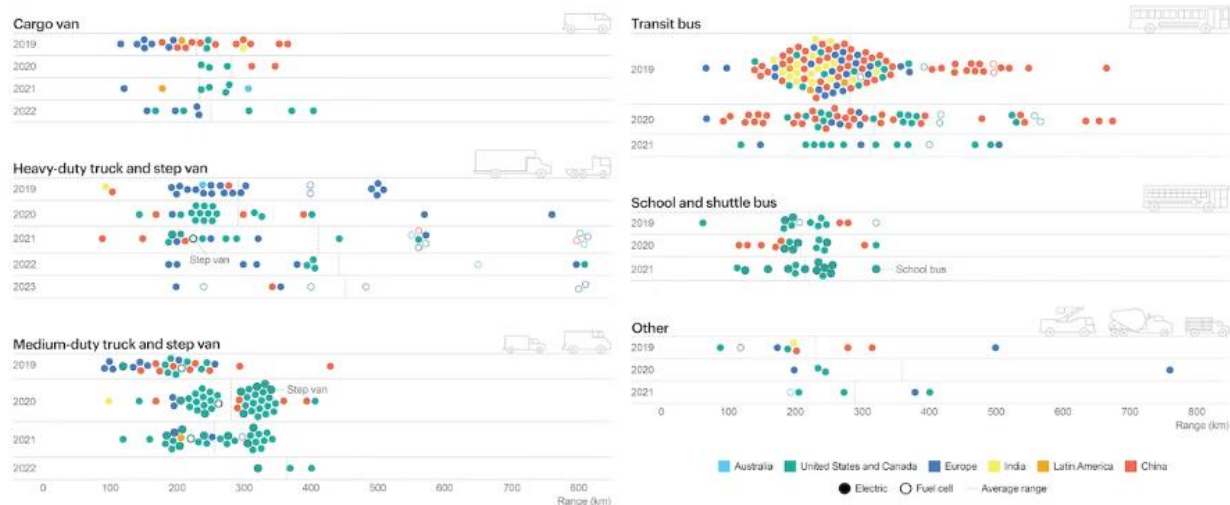


Figura 1-13. Autobuses y camiones eléctricos en expansión. Fuente: Iea

### 1.3.1. Autobuses eléctricos

En cuanto a autobuses eléctricos, China domina el mercado de estos. Además, siguen aumentando las nuevas matriculaciones de estos vehículos. A pesar de ello, desde 2018 las ventas de autobuses eléctricos en Estados Unidos, así como en toda Europa, han ido socavando este dominio del mercado global. India está finalizando una licitación para más de 5.500 autobuses eléctricos, lo que va a convertirla en uno de los mercados más grandes del mundo para autobuses eléctricos.

Por otro lado, los objetivos a nivel nacional o municipal para la transición a la contratación pública de solo autobuses con cero emisiones, así como a la Directiva de vehículos limpios para los países que pertenecen a la UE, han incrementado las ventas de autobuses eléctricos en países como Francia, Alemania, España y el Reino Unido.

En la siguiente figura, se observa un gráfico resumen de las cifras comentadas.

Electric bus registrations and sales shares by region, 2015-2021

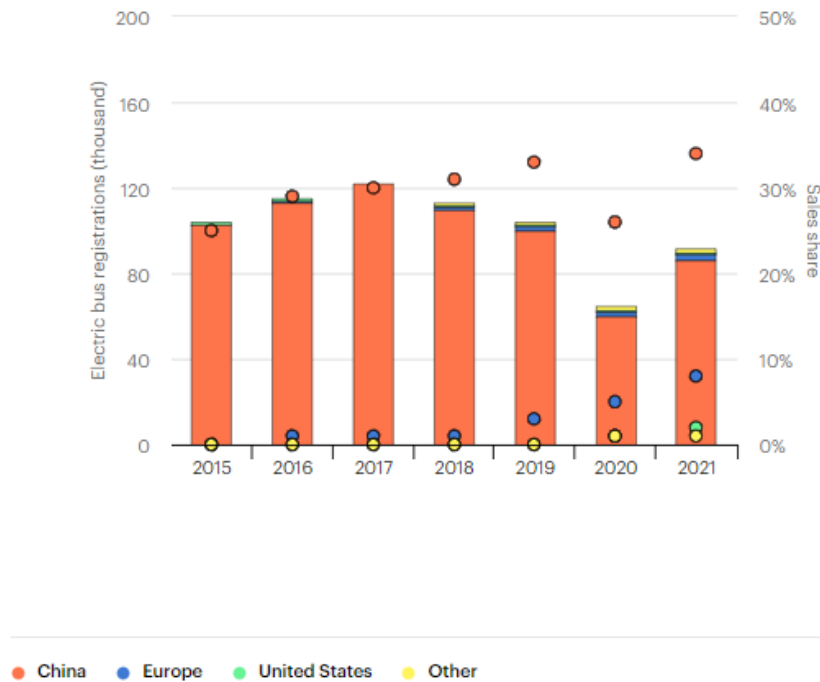


Figura 1-14. Matriculación y porcentaje de ventas de autobuses eléctricos por país, entre los años 2015 y 2021. Fuente: Iea

### 1.3.2. Camiones eléctricos

Refiriéndonos ahora a camiones eléctricos, una vez más, China representó casi el 90% de las matriculaciones de camiones eléctricos en 2021, frente a casi el 100 % en 2017. Las ventas en Estados Unidos y Europa han comenzado a aumentar rápidamente en los últimos años, impulsadas por un aumento en los modelos disponibles en esos países, así como por el apoyo político, mejorando rápidamente la viabilidad técnica y la competitividad económica de los camiones eléctricos.



Electric truck registrations and sales shares by region, 2015-2021

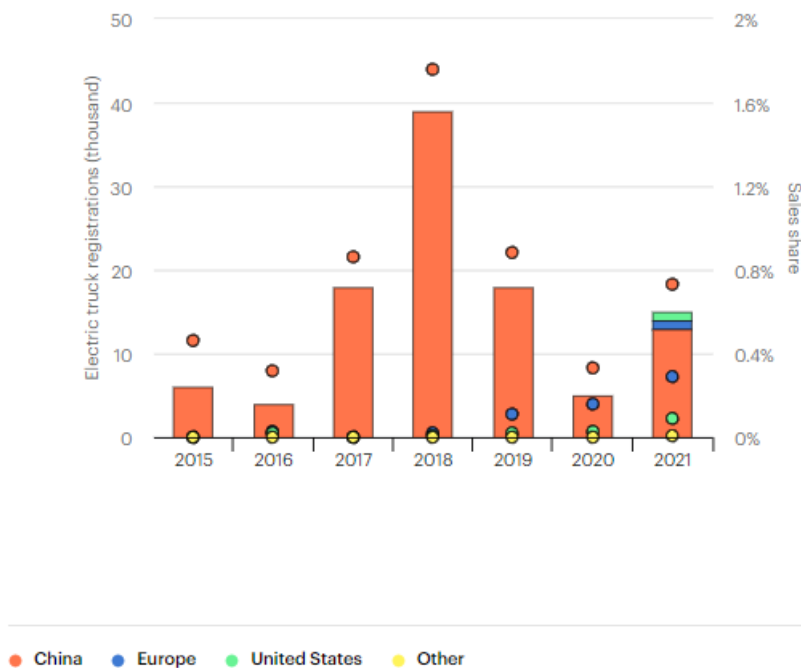


Figura 1-15. Matriculación y porcentaje de ventas de autobuses eléctricos por país, entre los años 2015 y 2021. Fuente: Iea

### 1.3. Principales fabricantes

IVECO, MAN, Daimler Truck, Scania o Volvo son los fabricantes más destacados en la fabricación de camiones eléctricos.

#### 1.3.1. IVECO

IVECO es una marca de Iveco Group, empresa líder internacional que desarrolla, produce y vende una amplia gama de vehículos industriales, de transporte y medios especiales enfocados a la defensa, la protección civil y a misiones anti-incendios. La compañía opta por las tecnologías del motor más modernas, destacando la propulsión con metano (CNG) y biocombustibles, así como las tecnologías híbridas y la electrificación de los vehículos. IVECO es la empresa europea líder en los vehículos comerciales de gas natural, y el único fabricante que ofrece, en toda su gama de productos, motores de diesel ecológico y de gas natural.

La compañía firmó un acuerdo con Enel X, empresa dedicada al desarrollo y venta servicios de energización innovadores, que ofrece soluciones de electrificación para el consumo y la movilidad. Bajo los términos de un acuerdo no vinculante, ambos fabricantes planean una colaboración que conducirá al sector comercial de vehículos europeos, concretamente a los vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados y autobuses, hacia las e-mobility o movilidad eléctrica, tecnologías de transporte que funcionan con electricidad generada mediante una fuente sostenible. De esta forma, se evaluará cómo los camiones eléctricos de IVECO soportan la transición hacia la flota de vehículos de cero emisiones con las tecnologías de Enel X, mientras se examinan nuevas oportunidades de negocio en otras áreas del transporte. La

colaboración tiene también como objetivo el desarrollo de una movilidad eléctrica en flotas comerciales, incluyendo la infraestructura de carga de vehículos ligeros y pesados. IVECO y Enel X aprovecharán sus conocimientos técnicos y de Investigación y Desarrollo para evaluar la interoperabilidad de la infraestructura de recarga de Enel X con los vehículos eléctricos de IVECO, y el posible desarrollo conjunto de servicios avanzados (por ejemplo, carga inteligente y V2G, Vehicle-to-Grid).

### 1.3.2. MAN Truck & Bus

MAN Truck & Bus es un fabricante de camiones y autobuses cuya sede reside en Múnich (Alemania), líder europeo en la producción de equipamientos técnicos y vehículos industriales. Actualmente, la compañía está acelerando el cambio hacia la eliminación de emisiones en su flota de vehículos comerciales. La producción de camiones pesados eléctricos en Múnich comenzará a principios de 2024, con la entrega de 200 unidades, casi un año antes de lo que la empresa tenía previsto. Además, para acelerar el crecimiento de la movilidad eléctrica, MAN está investigando la movilidad con hidrógeno.

Puesto que la compañía está acelerando la transición hacia formas de propulsión libres de fósiles y se está preparando para un futuro del transporte de mercancías y pasajeros libre de emisiones, Alexander Vlaskamp, Presidente del Consejo de Administración de MAN Truck & Bus, declaró que la base de los camiones eléctricos pesados que se lanzarán al mercado en 2024 serán los accionamientos eléctricos por batería. Afirmó, además, se esperan también utilizar camiones de pila de combustible de hidrógeno en áreas concretas, algo que no se podrá obtener hasta disponer de una infraestructura correspondiente y que se disponga del hidrógeno verde necesario para ello, lo que se estima que hasta después de 2030 no será posible. Es por ello, que la compañía está investigando este campo, así como la financiación por parte del estado de Baviera para adquirir más experiencia en el área relacionada con el hidrógeno.

El desarrollo de la propulsión por baterías eléctricas y por pila de combustible hidrógeno van de la mano, tecnológicamente hablando, puesto que el motor eléctrico que obtiene su energía de baterías es el punto de partida. Los BEV (Battery Electric Vehicles) producidos por la compañía ya ofrecen una tecnología que satisface las exigencias de los clientes junto con la sostenibilidad que se requiere en el sector. Los camiones con pila de combustible de hidrógeno se basan en los BEV, y además suponen una disminución de gran parte del peso del vehículo, al eliminar las baterías y sustituirlas por depósitos de hidrógeno, más ligeros, y la pila de combustible. Actualmente, los vehículos comerciales con pilas de combustible de hidrógeno, tienen mayor autonomía que los de baterías, pero los costes energéticos del hidrógeno son mucho más elevados, puesto que este elemento no se encuentra de forma aislada en la naturaleza. De esta forma, una disminución en estos costes energéticos daría a los camiones eléctricos de pila de combustible una gran ventaja competitiva. Por otro lado, el desarrollo de una sólida infraestructura de recarga sigue siendo esencial para la transformación del sector del transporte. Para ello, contar con apoyo político es indispensable. El Grupo TRATON, empresa matriz de MAN Truck & Bus, contribuirá a la creación de una red de carga de alto rendimiento, bajo el amparo de una empresa conjunta *Joint Venture Agreement High-Performance Charging Network / TRATON*.

### 1.3.2.1. eTruck

En la ilustración se muestra el eTruck, el camión eléctrico desarrollado por MAN, que cubre la mayoría de necesidades del sector del transporte. Para hacer posible a los clientes la transición hacia vehículos de transporte sostenibles, de motores de diesel a BEVs, se deben analizar las necesidades de los clientes antes de la compra de un camión eléctrico.



*Figura 1-16. e-Truck. Fuente: MAN*

El componente central para los camiones libres de emisiones son las baterías. MAN comenzó con la producción de sus propias baterías en la primavera de 2021, estando el Centro Técnico destinado a las eMobility en Núremberg. Las baterías de los camiones eléctricos son unidades más grandes que las baterías usadas por los vehículos comerciales. El autobús urbano MAN Lion's City E, producido en serie, cuenta con un paquete de seis baterías de una capacidad de 80 kWh, que le permite tener una autonomía de 350 km, factor que depende de la topografía, la forma de conducir o el uso de la calefacción o el aire acondicionado.



## 2. CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

---

Es evidente que el cambio climático y la contaminación, están obligando a buscar medios de transporte alternativos a los utilizados hasta ahora, más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Tras el Portocolo de Kyoto en 1997, donde se comprometía a los países industrializados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y el Acuerdo de París en 2015, donde se ponía sobre la mesa la intención de mitigar el calentamiento global, ya hoy existen limitaciones en la venta y circulación de vehículos con motor de combustión interna (ICEV) en grandes ciudades. Es probable que, un ICEV producido hoy no pueda circular por todas las ciudades del mundo a lo largo de toda su vida útil, especialmente si su combustible es diésel. De esta manera, los principales fabricantes de automóviles ya están reinventándose para adaptarse a esta situación, muchos ya han anunciado nuevos modelos de vehículos eléctricos. La disminución de su precio y el aumento de la capacidad de sus baterías, de 20-40kWh a 30-40kWh, hacen cada vez más atractiva su compra, a lo cual se añade la tendencia creciente del precio del combustible para los ICEV.

En este capítulo se quieren plantear cuáles son las principales tendencias y desafíos que afrontar a la hora de electricificar el transporte por carretera, empezando primero por una exposición de los tipos de vehículos eléctricos que podemos encontrar actualmente en el mercado.

### 2.2. Tipos de vehículos eléctricos

Dependiendo del nivel de electrificación que presenten, es posible encontrar cinco tipos de vehículos eléctricos.

#### 2.2.1. Vehículo eléctrico de baterías. Battery Electric Vehicle (BEV)

Este tipo de vehículo carece de fuentes de suministro de combustible fósil, ya que se desplaza gracias a la energía almacenada en una batería, por tanto, son puramente eléctricos. Esta energía almacenada en baterías proviene de la red, ya que el vehículo debe enchufarse en un punto de carga. Además, suelen incorporar un sistema de recuperación de energía, que recarga también la batería mediante frenadas y desaceleraciones, aunque es insuficiente para la recarga completa.

Estos vehículos están catalogados con el distintivo ambiental de cero emisiones, lo cual conlleva cada vez más beneficios a la hora de circular por grandes ciudades.

Cabe a destacar, en el ámbito del transporte pesado, vehículos de esta configuración, como el **Scania 25P BEV**. Este camión, es capaz de generar una potencia de 230kW, lo cual equivale a 310 caballos

y un par de 1.300 Nm. En función del tamaño del chasis del vehículo, se ofrecen dos configuraciones diferentes en cuanto a la batería, que lógicamente tiene una influencia directa con la autonomía del vehículo, así como de su precio. Por un lado, se ofrece la posibilidad de equipar el vehículo con una capacidad de carga de 300 kWh, lo cual equivale a 260 km de autonomía, gracias a un conjunto de 9 baterías de iones de litio. Por otro lado, se cuenta con la posibilidad de 5 batería de iones de litio, que equivalen a 165 kWh, 130 km de autonomía. En ambos casos, las baterías se sitúan a lo largo del chasis del vehículo y en los dos laterales, de forma simétrica, situando la restante bajo la cabina, donde iría el motor de combustión. De esta forma se consigue un equilibrado reparto de pesos, lo cual es imprescindible, puesto que las baterías presentan un peso realmente importante.



Figura 2-1. Scania 25P BEV. Fuente: Solo camión

La conexión de enchufe del camión es CCS tipo 2, capaz de cargar hasta 130 kW/200A de carga en corriente continua, la cual garantiza unas cargas muy rápidas, si se cuenta con el cargador adecuado.

### 2.2.2. Vehículo eléctrico con pila de hidrógeno. Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

En este caso, el vehículo obtiene la energía de una pila de combustible, normalmente de hidrógeno, en lugar de desde una batería eléctrica. No almacenan energía, si no que la producen en el momento que esta se precisa, mediante una reacción química, llamada electrólisis, en la que el hidrógeno se oxida a través del oxígeno ambiental. De esta forma, el hidrógeno pierde electrones, que se utilizan para generar la energía eléctrica que se va a encargar de impulsar el vehículo. Las emisiones que genera son puramente de vapor de agua.

La gran ventaja de los FCEV es que el hidrógeno puede almacenarse durante largos períodos de tiempo y su transporte es fácil y no le hace perder las propiedades necesarias para la electrólisis. Al carecer de

baterías, que aumentan el peso del vehículo, aumenta la eficiencia energética. Algunos modelos incorporan pequeñas baterías que permiten su recarga mediante la red eléctrica. Los FCEV también recibe el distintivo ambiental de cero emisiones, como los BEV.

En el ámbito del transporte pesado podemos destacar el **Nikola Tre FCEV**, que se muestra en la siguiente imagen.



*Figura 2-2. Nikola Tre FCEV. Fuente: Nikola Motor*

### **2.2.3. Vehículo eléctrico de autonomía extendida. Extender-range electric vehicles (EREV)**

Estos vehículos disponen de un motor de combustión, normalmente de gasolina, además de uno o varios motores eléctricos. El motor de combustión, a diferencia del resto de tipo de vehículos, no se usa para generar tracción en las ruedas, sino que se utiliza como generador eléctrico para recargar la batería, la cual es la que se encarga de suministrar energía a los motores eléctricos, que sí generan tracción en las ruedas.

La autonomía de la que dispone la batería, antes de tener que usar el motor de combustión, suelen ser superior a los vehículos híbridos enchufables, gracias a la mayor capacidad que posee. Sin embargo, los EREV tienen menor la autonomía que los eléctricos puros. La mayoría de estos vehículos pueden recargar su batería en puntos de recarga de la red eléctrica.

Si su autonomía puramente eléctrica es mayor de 40 kilómetros, los EREV tienen también el distintivo ambiental de cero emisiones.

### **2.2.4. Vehículo híbrido enchufable. Plug-in hybrid electric vehicles (PHEV)**

En este caso, al igual que los EREV, los PHEV cuentan también con un motor de combustión, también de gasolina normalmente, y de uno o varios motores eléctricos. La diferencia está en que, en este caso, los dos motores son capaces de crear la tracción de las ruedas del vehículo, ya sea por separado o por la combinación de ambos. La fuente de energía del motor eléctrico es una batería, usualmente de poca capacidad y con una autonomía inferior a 50 kilómetros. Esta batería permite que el vehículo funcione como eléctrico puro en distancias cortas y puede recargarse a través de la red eléctrica.

El conductor del vehículo puede seleccionar cuál de los motores usar o si prefiere una combinación de ambos, en modo automático, adaptándose a la vía por la que circule el vehículo. La gran mayoría de los modelos híbridos enchufables, pueden hacer uso del motor de combustión para cargar la batería que sirve como fuente de alimentación al motor eléctrico.

Al igual que los EREV, si su autonomía puramente eléctrica supera los 40 kilómetros, se considera un vehículo de una categoría cero emisiones.

### **2.2.5. Vehículo híbrido no enchufable. Hybrid electric vehicle (HEV)**

El sistema de estos vehículos es muy similar al de los híbridos enchufables, con la diferencia de que la batería de este tipo de vehículos tiene una capacidad más reducida para alimentar al motor eléctrico, y sólo es posible alimentarla con los sistemas de frenada, desaceleraciones y con el motor de combustión.

La autonomía que tienen es muy reducida, normalmente inferior a un kilómetro, siendo bueno para el ahorro de combustible en vía urbana.

A diferencia de los demás, cuentan con el distintivo ambiental ECO.



## 3. TENDENCIAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN DEL TRANSPORTE POR CARRETERA

---

Para describir las principales tendencias que se están dando para facilitar la electrificación de vehículos, se focalizará el análisis en tres apartados; las políticas y presión social que fomentan la movilidad eléctrica, la importancia de electrificar el transporte público y el desplazamiento de mercancías, así como las tendencias del mercado y el enfoque que le dan los fabricantes de automóviles.

### 3.2. Políticas que impulsan la electrificación

Ya se ha mencionado que el **Protocolo de Kyoto** y el **Acuerdo de Paris** en la COP 21 llevaron a los países a tener un mayor compromiso con *fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático* (Acuerdo de Paris, 2015). Las medidas individuales dependían de cada país que participó, sin embargo, ya muchos de ellos anunciaron objetivos retadores para la electrificación de la movilidad. Por ejemplo, Países Bajos y Noruega anunciaron que dejarían de vender vehículos de gasolina y diésel en 2025, objetivo que India y Alemania pusieron para 2030 y Francia para 2040. Por otro lado, China, a pesar de carecer de una meta similar, exige que para 2025 al menos el 20% de las ventas de vehículos nuevos sean de batería eléctrica o híbridos enchufables. Siendo el país con el mercado más grande del mundo, contando con 30 millones de automóviles y camiones cada año, esta medida es un gran avance hacia la electrificación del transporte por carretera. Escocia apunta que en 2032 cesará la venta de coches de diésel o gasolina, y en el resto de Reino Unido se hará en 2040.

También ciudades como Madrid, Paris, Ciudad de Mexico o Atenas, en la conferencia de alcaldes C40, anunciaron su intención de prohibir vehículos diésel en el centro de sus ciudades en 2025.

### 3.3. Transporte público y mercancías

El transporte público es uno de los contribuyentes principales en la contaminación de grandes ciudades, especialmente aquellos que funcionan a partir de diésel. Es evidente que el uso de autobuses eléctricos en lugares que sufren gran contaminación es una medida efectiva para disminuir la emisión de GEI. Como consecuencia, existe una tendencia significativa hacia el uso de autobuses más respetuosos con el medio ambiente, concretamente, autobuses eléctricos de batería.

China es el país que lidera su implementación. Ya en 2016, de los 345000 autobuses eléctricos que había en todo el mundo, la gran mayoría se encontraba en el país, de los cuales 300000 eran autobuses de batería. La ciudad de Shenzhen ya electrificó al completo su flota de más de 16000 autobuses en 2017, anticipándose un año a la fecha en la que tenía previsto hacerlo. Por otro lado, a pesar de el resto

de países van con retraso en contraste con el país chino, ciudades como Londres, París o Los Ángeles, se han comprometido a comprar únicamente autobuses eléctricos a partir de 2025.

También el sector de los taxis experimenta una tendencia similar. En Shenzhen, el 63% de los más de 125000 taxis que operan en la ciudad son eléctricos y Pekín contaba ya con 20000 taxis eléctricos al finalizar 2020.

Finalmente, el transporte de mercancías por carretera también está experimentando un cambio hacia la propulsión de estos vehículos de forma eléctrica. En 2017, Mercedes-Benz entró en fase de prueba por carreteras alemanas con el primer camión totalmente eléctrico pesado, llamado *eActros*.



*Figura 3-1. eActros, primer camión eléctrico pesado, fabricado por Mercedes-Benz. Fuente: Car and driver*

Este camión, producido en la planta de Wörth, supone un paso fundamental hacia la disponibilidad de vehículos de carga electrificados. Cuenta con un pack de tres o cuatro baterías, cada una de ellas con una energía total aproximada de 105 kWh. Así, los eActros que alcancen una capacidad máxima de 420 kWh contarán con una autonomía de hasta 400 kilómetros. También, de forma similar a otros vehículos eléctricos, es capaz de regenerar energía eléctrica aprovechando frenadas y desaceleraciones. Además de ser un camión de cero emisiones, lo que le permite acceder sin restricciones a zonas urbanas libres de emisiones, como el centro de Madrid, cuenta con bajos niveles de sonoridad, lo que facilita entregas nocturnas, disminuyendo el ruido en las ciudades.

También Tesla anunció en 2017 el comienzo de la producción de su camión *Semi*, el cual se encuentra aún en la fase de desarrollo, aunque se entima que las primeras unidades se entreguen en diciembre de 2022. Se espera que tenga hasta 804 kilómetros de autonomía y destaca por su forma aerodinámica, destinada a minimizar el consumo de energía. Presume de un coeficiente aerodinámico de 0,36, lo cual se traduce en una reducción del 20% respecto a un camión convencional, significando esto una reducción del consumo de hasta un 10%, ahorrando miles de euros anualmente. El Semi adopta un perfil inclinado de su sección frontal, inspirado en los trenes de alta velocidad, para reducir la zona de alta presión y conseguir la aerodinámica deseada.



Figura 3-2. Camión Semi de Tesla. Fuente: Soy motor

Además, ofrecerá una amplia visibilidad de la vía al conductor, a través de dos pantallas táctiles situadas a ambos lados del volante. El camión contará con cuatro motores en el eje trasero, con una potencia total de unos 1300 caballos, aproximadamente. Se estima que, con una carga de 36000 kilos, tarde unos 20 segundos en acelerar de 0 a 100 km/h. Con respecto su paquete de baterías, su capacidad será cercana a 1000 kWh, siendo su recarga a través de los cargadores *Megacharger*, hasta diez veces más potentes que los *Superchargers* usados en la actualidad. Tesla promete que, con tan solo 30 minutos de recarga, se obtengan 650 kilómetros de autonomía. El precio de Semi será unos 150000 dólares, para el modelo con autonomía de 482 kilómetros, y de 180000 dólares para 804 kilómetros.

### 3.4. Respuestas de los fabricantes de automóviles

El creciente interés de los consumidores, junto con la presión de la opinión pública y los acuerdos comerciales, ha obligado a los principales fabricantes de automóviles a tomarse en serio la electrificación de sus flotas. Se prevé que el 24% de las ventas anuales de vehículos ligeros en 2030 sean de vehículos eléctricos, aumentando hasta el 43% para 2035 y hasta el 54% en 2040. Fabricantes como Volvo, Ford, Volkswagen, BMW o Renault, ya han comenzado con la tarea.

### 3.5. Desafíos para la electrificación del transporte por carretera

Para describir los principales desafíos que afrontar a la hora de electrificar el transporte por carretera, se describirá la necesidad de sistemas de almacenamiento de energía (baterías) que sean recargables y adecuados, la gestión de la recarga, el final de la vida útil de las baterías, la importancia de estandarizar los VE y la necesidad de formación técnica y adecuación para el uso de los VE.

#### 3.5.1. Baterías adecuadas

El reto fundamental para la producción de vehículos eléctricos es, sin duda, el almacenamiento de la energía. Es imprescindible que los paquetes de baterías producidos sean seguros, que cuenten con una vida útil prolongada (de más de 4000 ciclos y más de 10 años), con alta densidad de energía (kWh/l) y energía específica, así como de potencia (kW/l) y de potencia específica (kW/kg). Generalmente, las

baterías se optimizarán para tener una alta energía (lo cual se relaciona con la autonomía del vehículo) o potencia (relacionada con la aceleración), no para ambos parámetros.

Por otro lado, se ha demostrado que es posible cargar de forma rápida las baterías LFP (de hierro y litio) a una corriente cuatro veces la capacidad de esta, sin presentar una degradación significativa. Sin embargo, los picos de uso, tienen mayor impacto en la vida útil de la batería. Una opción para mitigarlo, sería incorporar múltiples fuentes de energía en el mismo vehículo, lo cual es más complejo y costoso. Otros aspectos a tratar son la gestión térmica y el impacto del ciclo de vida de las baterías, que incluye la fabricación y su reciclado. En la última década, se ha puesto un gran esfuerzo en la investigación de esto, dando como resultado la llegada de las baterías de Litio al mercado. Actualmente, la mayoría de las baterías del mercado cuentan con un ánodo de grafito, menos el Tesla X y el Tesla Model 3 cuyo ánodo es de grafito-silicio, y un cátodo de Litio, Níquel, Cobalto y Manganeso, conocido como *NCM*:  $LiNi_xCo_yMn_zO_2$ , de óxido de Aluminio y Cobalto de Litio, *NCA*:  $LiNiCoAlO_2$ , o espinela de óxido de litio y manganeso, *LMO*:  $LiMn_2O_4$ . También existen modelos, como los chinos, que usan LFP para el cátodo.

### 3.5.2. Gestión de carga

Al igual que los vehículos diésel necesitan gasolineras, los vehículos eléctricos necesitan estaciones de carga. Y en este momento, no hay suficientes estaciones de carga en el mundo para respaldar los vehículos eléctricos que estarán operativos en la próxima década. Las altas expectativas en el crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos plantean grandes desafíos para la red de carga eléctrica, lo cual se ve además agravado por el interés creciente en aumentar la capacidad de las baterías, de aumentar la ratio de carga, ya sea con carga rápida o ultrarrápida.

En la actualidad, la mayoría de los propietarios de camiones eléctricos, dependen de equipos de carga instalados en sus instalaciones propias, lo cual limita su uso y autonomía. Aunque, en teoría, cargar un camión en una estación de vehículos de pasajeros es posible, el diseño de estas estaciones, los espacios de estacionamiento y necesidad de gran energía que precisan los camiones, hacen que no sea del todo posible usar estas estaciones indistintamente para camiones o vehículos de pasajeros. La realidad es que una red de carga especial para camiones es necesaria para llevar a cabo de descarbonización de esta parte del transporte por carretera. La primera estación de carga pública para vehículos pesados eléctricos se inauguró en el año 2021, en Gotemburgo, Suecia, con una capacidad de carga de hasta 360 kW por bahía de carga. En el Puerto de Gotemburgo, anualmente más de un millón de camiones pesados entregan o recogen mercancías, por lo que esta ubicación para una estación de carga es idónea para impulsar la descarbonización de este sector. Al ser construida para ser usada fundamentalmente por vehículos pesados y, por tanto, de gran volumen, la estación tiene dimensiones que proporcionan facilidad para girar y acceder a ella desde múltiples direcciones.



Figura 3-3. Primera estación de carga de vehículos pesados, Gotemburgo, Suecia. Fuente: Portal portuario

Así, a pesar de que los fabricantes suelen adoptar por la competencia, varios de ellos se han unido para alcanzar un objetivo común: todos necesitan cargadores para la venta sus vehículos. Una nueva empresa conjunta formada por Volvo Group, Daimler Truck y Traton Group (incluidos Scania y Volkswagen) busca desarrollar una infraestructura de carga muy necesaria, con el objetivo de hacer posible el transporte eléctrico de larga distancia.

### 3.5.2.1. Un proyecto común hacia la electrificación

Los fabricantes Scania y Volvo Trucks tienen objetivos muy ambiciosos para la alcanzar la ansiada electrificación necesaria para la reducción de GEI. Scania se compromete a ser completamente eléctrica para 2040 y Volvo Trucks estima que el 50% de sus entregas de vehículos sean eléctricos ya en el año 2030.

Para hacer posible estas a ambiciones nació la JV (Joint Venture), fundada bajo un acuerdo de colaboración firmado por Traton (antiguamente conocida como Volkswagen Trucks), Mercedes y Volvo, que, junto con Milence, empresa dedicada a la construcción de redes de carga pública para vehículos eléctricos pesados, se instalará al menos **1700 puntos de carga** a lo largo de cerca de autopistas y en centros logísticos en Europa para 2027, para dar vida a los camiones EV y así facilitar su uso y circulación. Sin embargo, aún se desconoce el nombre definitivo que tendrá esta JV, con la que quiere acelerar la creación de una infraestructura de carga para el creciente número de vehículos eléctricos en Europa y contribuir a la sostenibilidad del transporte para 2050, que se dará a conocer más adelante. Su sede principal se encontrará situada en Ámsterdam.

Cada uno de los colaboradores se ha comprometido a invertir 500 millones de euros en total, lo que se supone la mayor inversión en infraestructura de carga en la industria europea de camiones pesados hasta hoy. La JV proporcionará estaciones de carga de alto rendimiento para todos los operadores de flotas de con camiones eléctricos. Se espera que dichas redes tengan capacidades de carga muy altas, de hasta **1MW**.



Figura 3-4. La empresa nacida del acuerdo de colaboración, pretende operar al menos en 1700 puntos de recarga. Fuente: Cadena de Suministro

El portavoz de Milence, Zazhary Alfred, cuando le preguntaron por el objetivo de la JV, afirmó: “Queremos ser un catalizador en el mercado, brindando a los operadores de transporte la confianza que necesitan para invertir y operar con flotas de camiones eléctricos pesados, sabiendo que la infraestructura de carga estará ahí cuando y donde sea necesaria, y siempre 100% segura y disponible”.

### 3.5.2.2. Infraestructura de carga

Los camiones eléctricos pesados de larga distancia requieren un enfoque diferente a la hora de poner en marcha la infraestructura necesaria para su carga con respecto a los automóviles de pasajeros. Según Zachary, esto se reduce a cuatro diferencias principales: requisitos de espacio, demanda de energía, confiabilidad y seguridad. Los camiones transportan varias toneladas de mercancías que, unido a las grandes distancias que recorren para completar sus entregas, resulta en cientos de kilómetros desde un centro de recarga hasta el siguiente. De esta forma la red de carga se enfrenta a grandes desafíos:

- **Horario.** Los apretados horarios que deben seguir los camiones de larga distancia conllevan una demanda adicional en las estaciones de carga. Los cargadores deben ser rápidos y deben funcionar el 100 % del tiempo.
- **Espacio.** Los camiones requieren mucho más espacio para maniobrar que los automóviles de pasajeros, así como espacio para estacionar, lo que hace imprescindible que las estaciones sean de una amplitud considerable.
- **Necesidades de energía.** Los camiones eléctricos requieren mucha más energía que los automóviles de pasajeros. Hoy en día pueden tener capacidades de batería de alrededor de 500-600 kWh, alrededor de 8-10 veces la de un automóvil eléctrico típico.

Con el fin de evitar la interrupción de los horarios de los conductores de los camiones, la idea es en que las estaciones de carga de JV, la carga pueda hacerse en menos de 45 minutos, para dar autonomía al camión durante 4 horas y media. Esto se equilibraría muy bien con las paradas necesarias para descansar que deben hacer lo conductores al recorrer largas distancias. Si la

carga se hace durante la noche, y se tiene suficiente tiempo para para recargar el camión, es posible hacer la recarga con los cargadores que existen en la actualidad. Sin embargo, al querer recargar en menos de una hora la batería completa, se requiere una gran potencia. La idea es que el Sistema de Carga de Megavatios (MCS) entregue hasta 3,75 MW durante una recarga de 45 minutos.

En este punto, es importante señalar la importancia de la estandarización necesaria de las especificaciones técnicas del MCS, para que sea compatible con todas las variedades de camiones y evitar interrumpir los flujos logísticos.

### 3.5.2.3. Estaciones de carga de camiones eléctricos

Según un informe emitido por National Grid en noviembre de 2022, una estación de carga de camiones eléctricos en el año 2035 podría necesitar casi tanta electricidad como una ciudad pequeña. En la siguiente ilustración se muestra un gráfico que expone el estudio, comparando las necesidades de energía de las estaciones de carga y edificios y ciudades.

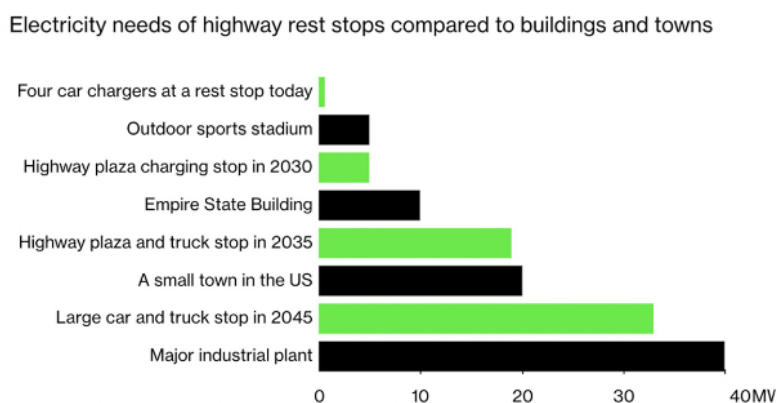


Figura 3-5. Necesidades de energía en para estaciones de carga de camiones en carretera. Fuente: Híbridos y eléctricos.

Se observa la subida de energía demandada entre los años 2035 y 2045, de 20 a 30 MW, lo que se puede asociar a la expansión de la flota de camiones eléctricos prevista en esos años.

Una estación de carga de camiones eléctricos precisa de los siguientes elementos:

- 1. Conexión a la red eléctrica.** Como es obvio, las estaciones de carga de camiones eléctricos deben estar conectadas a la red eléctrica de alta potencia para suministrar la electricidad necesaria para cargar los camiones. La conexión puede ser de alta tensión o de baja tensión, dependiendo de las especificaciones del equipo de carga y de la red eléctrica local.
- 2. Transformador.** En algunos casos, se puede necesitar un transformador para convertir la electricidad de alta tensión de la red eléctrica en una tensión adecuada para cargar los camiones eléctricos.
- 3. Sistema de distribución eléctrica.** Este sistema distribuye la electricidad desde la fuente de alimentación hasta los puntos de carga donde se enchufan los camiones. El sistema de distribución puede incluir transformadores, paneles de distribución, interruptores y otros componentes.

**4. Puntos de carga.** Estos son los puntos donde los camiones eléctricos se enchufan para cargar sus baterías. Los puntos de carga pueden ser de diferentes tipos, dependiendo de la velocidad de carga requerida y del tipo de conector utilizado.

Referido a este punto, es interesante hablar de las distintas configuraciones de carga que propone la empresa ABB:

- **Carga secuencial:** en lugar de tener un cargador por vehículo, ABB propone un sistema de carga secuencial, con un único armario de alimentación, en el que una vez se carga el primer vehículo, comenzará a cargarse el siguiente de forma automática. Esta distribución es para cargadores de 100-160 kW. La carga secuencial, idónea para la carga nocturna de una flota de camiones, presenta ciertas ventajas:
  - Los vehículos se cargan con alta potencia, lo que maximiza su disponibilidad.
  - La conexión a la red necesaria es menor, lo cual reduce inversiones iniciales, así como costes operativos.
  - Utilización óptima de la estación de carga, lo que supone una menor inversión.

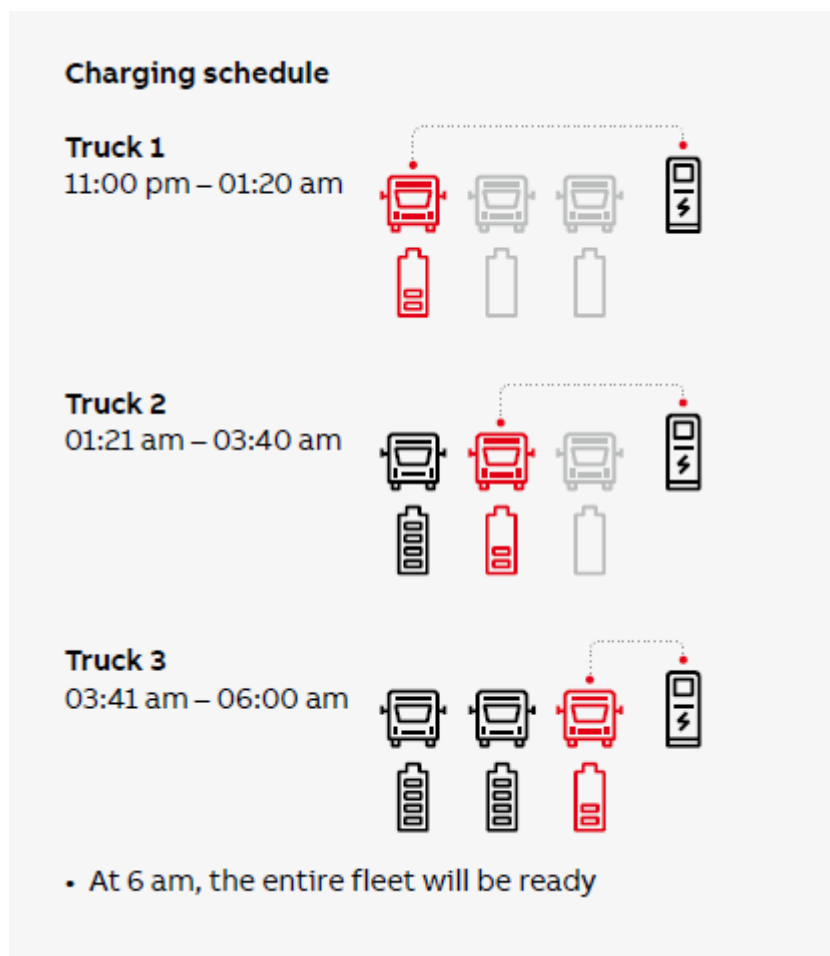


Figura 3-6. Ejemplo de recarga secuencial. Fuente: ABB web



Como se puede observar en la Figura 8, tras cargar un camión se carga el siguiente, hasta cargar la flota entera. Esta modalidad resulta muy interesante para cargar una flota completa durante una noche, por ejemplo.

- **Carga en paralelo.** Se pueden cargar dos vehículos al mismo tiempo utilizando un único cargador con dos tomas de corriente (Terra DC fast Terra HP, Depot charge box). Si sólo se enchufa un vehículo al poste de carga, tomará 100% de la potencia disponible. En cuanto un segundo vehículo se enchufe, la potencia disponible por vehículo se dividirá (50%/50%) entre los dos vehículos. Una vez que uno de los vehículos esté completamente cargado, el segundo tomará el 100% de la potencia disponible. De la carga en paralelo se destacan las siguientes ventajas:
  - Al cargar dos vehículos al mismo tiempo, se maximiza la disponibilidad del vehículo.
  - La necesidad de estar conectado a red es menor, lo que reduce la inversión inicial así como los costes operativos.
  - La infraestructura se utiliza de forma eficiente, lo que se traduce en menor inversión en el equipamiento de recarga.

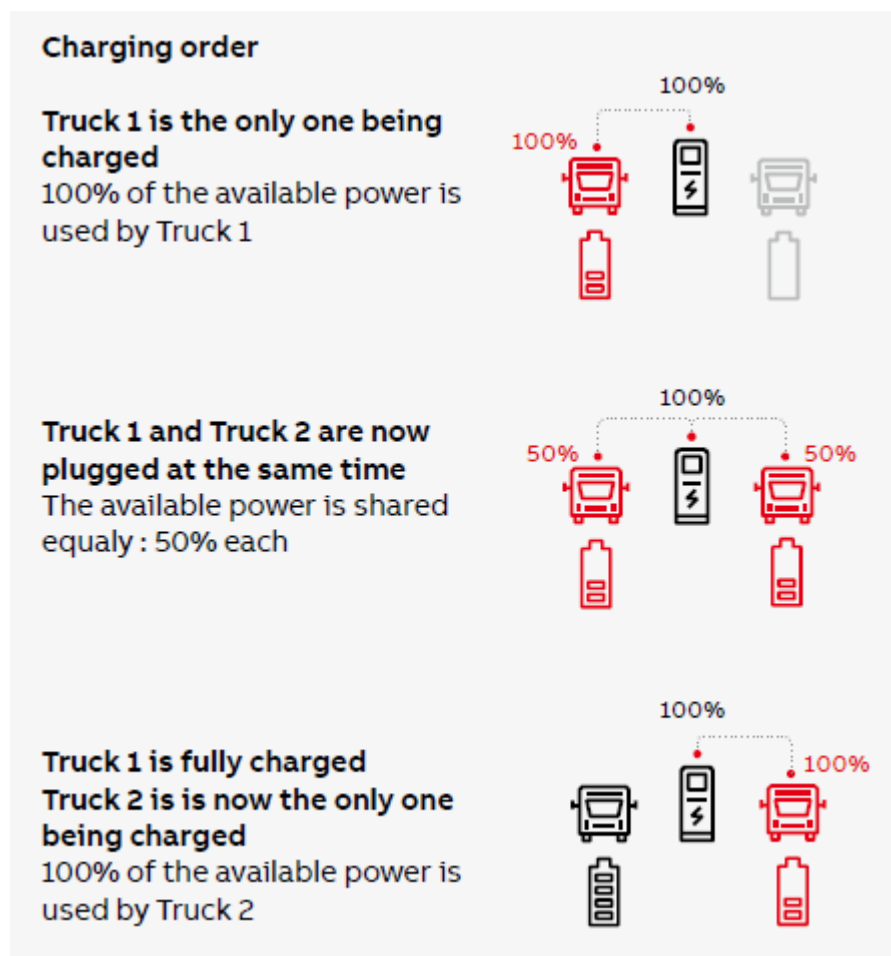


Figura 3-7. Ejemplo de carga en paralelo. Fuente: ABB web

- 5. Cableado.** Se trata del sistema que conecta todos los componentes de la estación de carga, desde la conexión a la red eléctrica hasta todos los puntos de carga. Cabe a destacar en este punto el MCS (Megawatt Charging System), el conector estándar para carga rápida para camiones eléctricos, que llega a 3750 kW de potencia, que presentó la asociación CharIn durante el EVS35 de Oslo, celebrado en junio de 2022. Este conector, aspira ser el estándar para camiones, autobuses y vehículos eléctricos pesados en general en términos que carga de alta potencia.



6.

*Figura 3-8. El conector se mostró instalado en un cargador Alpitronic y en un camión eléctrico Scania, que pudo ser recargado, durante el propio evento, a una potencia de hasta 1 MW. Fuente: Electrive*

- 6. Sistema de gestión y control.** Este sistema controla el suministro de energía eléctrica, el flujo de carga y la seguridad de la estación de carga. También puede proporcionar información sobre el uso de la estación de carga, la cantidad de energía suministrada y otros datos importantes.

Además, algunas estaciones de carga para camiones eléctricos pueden incluir otros componentes opcionales, como paneles solares o sistemas de almacenamiento de energía para suministrar electricidad renovable o para respaldar la carga durante los picos de demanda. También pueden incluir sistemas de refrigeración o climatización para mantener la temperatura óptima de las baterías durante la carga.

#### 3.5.2.4. Smart Grids. Carga unidireccional y bidireccional

Dentro del cuadro de las *Smart Grids*, de la red de distribución inteligente, entran los sistemas bidireccionales, capaces de transmitir la electricidad en ambos sentidos. La carga bidireccional de los vehículos a la red eléctrica, *Vehicle-to-grid (V2G)*, plantea un innovador uso de los vehículos eléctricos, el uso de la energía remanente de vuelta a la red o a un dispositivo. Si un cargador unidireccional permite únicamente que la electricidad vaya únicamente de la red al vehículo, los cargadores bidireccionales permiten que la energía fluya en varias direcciones. Esto permite un ahorro de energía durante las horas valle, para redirigirla en las horas más cortas, o incluso suministrar luz cuando se carece de esta. En lugar de encender centrales eléctricas a gas o almacenar en grandes baterías la energía renovable excedente, cuando el sol no brilla o el viento se detiene, el uso de un vehículo eléctrico no utilizado parece una buena alternativa.

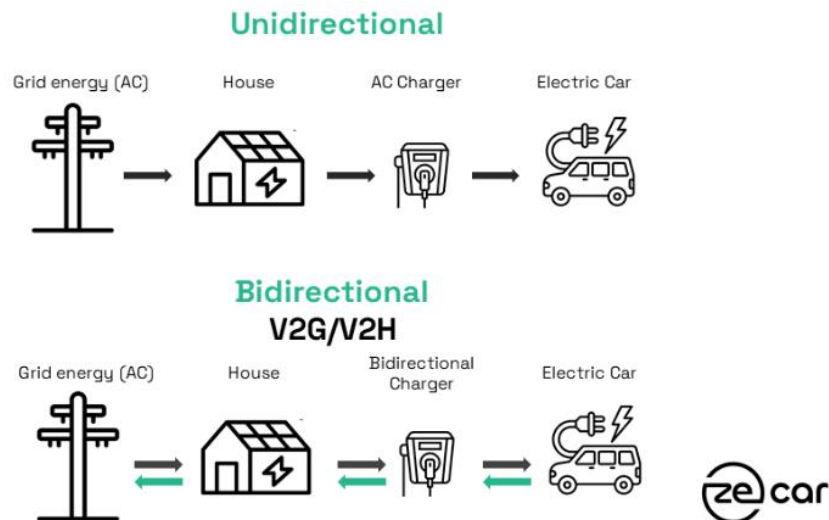


Figura 3-9. Gestión de carga unidireccional y gestión de carga bidireccional. Fuente: Zecar

V2G usa la energía de los vehículos para estabilizar la red, lo cual se hace a través de cargadores bidireccionales, los cuales controlan cuando la batería es cargada y cuando descargada. Así, la batería del vehículo será cargada cuando la demanda de energía sea baja, y descargada cuando sea alta. Esto conlleva hasta beneficio económico, puesto que el proveedor de energía cargará su batería gracias al V2G, lo cual se ve compensado con una tarifa acorde al servicio prestado. La prueba de V2G más grande del mundo, realizada por Ovo Energy y Cenex en Reino Unido, demostró que las facturas anuales de energía podrían ser hasta £ 725 menores empleando este tipo de tecnología, proyecto que empleó el Nissan Leaf hatchback (ZE1) y el cargador bidireccional Quasar Wallbox. A pesar de los buenos resultados, el coste de hardware, del vehículo en sí y del cargador, deben caer de forma significativa para que el consumidor sea beneficiado realmente.

Una variante es el V2H, cuyo uso implica la alimentación de un hogar o negocio, que funciona de la misma forma que una batería de almacenamiento doméstica estacionaria (como la Tesla Powerwall 2) empleada para reducir el consumo de la energía de red. Su utilización es también con cargadores bidireccionales.

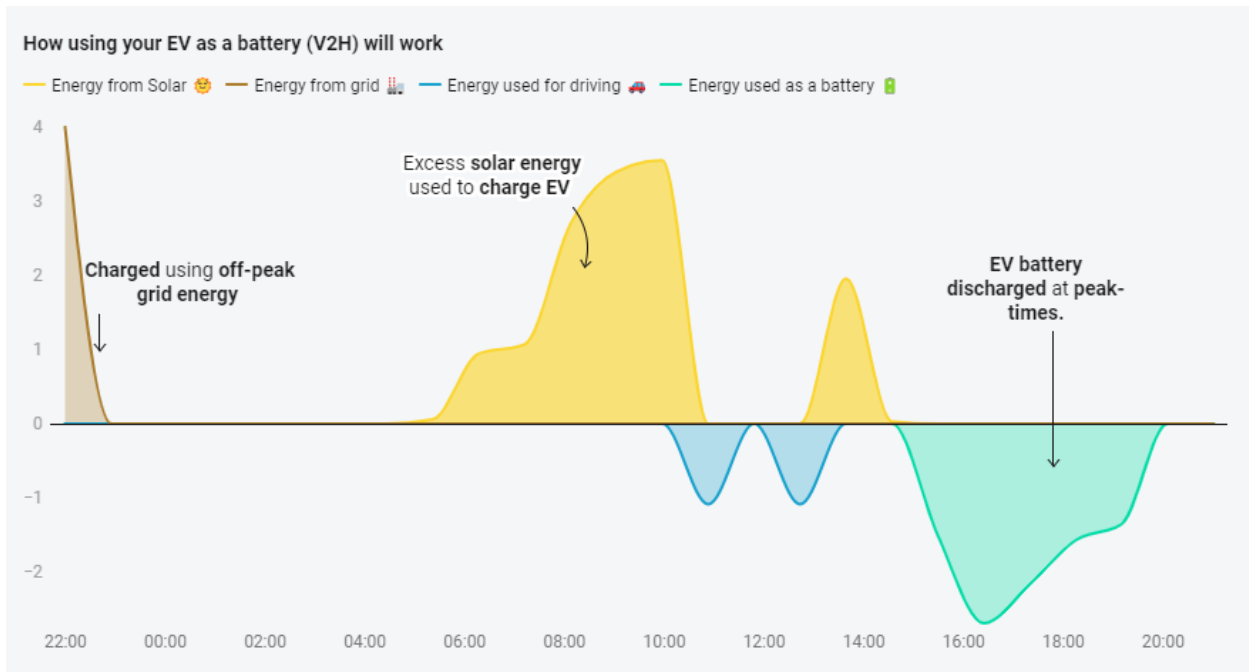


Figura 3-10. Cómo utilizar un vehículo eléctrico como batería. Fuente: Zecar

La reducción de la factura de la electricidad se produce al cargar la batería en los momentos en los que la energía es barata y al descargarla cuando es cara. A continuación, se muestra una comparación entre el coste de poseer un Hyundai Ioniq 5, vehículo con capacidad bidireccional, usado solo como medio de transporte o como medio de transporte y almacenamiento de carga.


<b>Cost-savings comparison - Hyundai Ioniq 5</b>		
	Electric	Electric + 
Driveaway price - car	\$74,187	\$74,187
Add: Bi-directional charger		\$5,000
<b>Total</b>	<b>\$74,187</b>	<b>\$79,187</b>
<b>Annual running costs</b>		
Insurance and Registration	\$2,497	\$2,497
Fuel	\$249	\$249
Service, tyres, maintenance	\$869	\$869
<b>Total</b>	<b>\$3,615</b>	<b>\$3,615</b>
Electricity savings		\$1,244
Lost export income		-\$146
<b>Net electricity savings</b>		<b>\$1,098</b>
<b>Total Cost of Ownership</b>		
5-years	\$93,381	\$92,552
8-years	\$106,336	\$101,573
<b>Carbon emissions reduction</b>	<b>2276 kg</b>	<b>3663 kg</b>

Tabla 3-1. Comparación entre utilizar un vehículo con capacidad bidimensional solo como medio de transporte o como medio de transporte y almacenamiento de carga. Fuente: Zeccar

Con una tecnología V2H, se necesitarían casi 5 años para pagar el coste adicional que supone el cargador bidireccional, 5000\$. A pesar de ello, una vez se pague, se embolsarían un total de 1300\$ en ahorros de electricidad. Al igual que los paneles solares o las baterías, el coste de los cargadores irá cayendo a medida que aumente su producción, lo cual hará que la rentabilidad de la inversión sea antes.

Además, existen los V2L, los cuales no requieren el uso de cargadores bidireccionales. En su lugar, se usa un adaptador en el puerto de carga donde se enchufa el automóvil, que permite que este funcione como un paquete de baterías portátil con una fuente de alimentación estándar de 120/240 V. Este tipo de vehículos resulta interesante para viajes por carretera, para poder enchufar de forma puntual algún electrodoméstico. Esto resulta en una independencia energética, otro gran beneficio de la carga bidireccional. No se consigue una independencia total, sí significa, del uso de la energía de la red. En el siguiente ejemplo, se muestra una reducción del 70% del uso de la energía de la red utilizando un V2H.

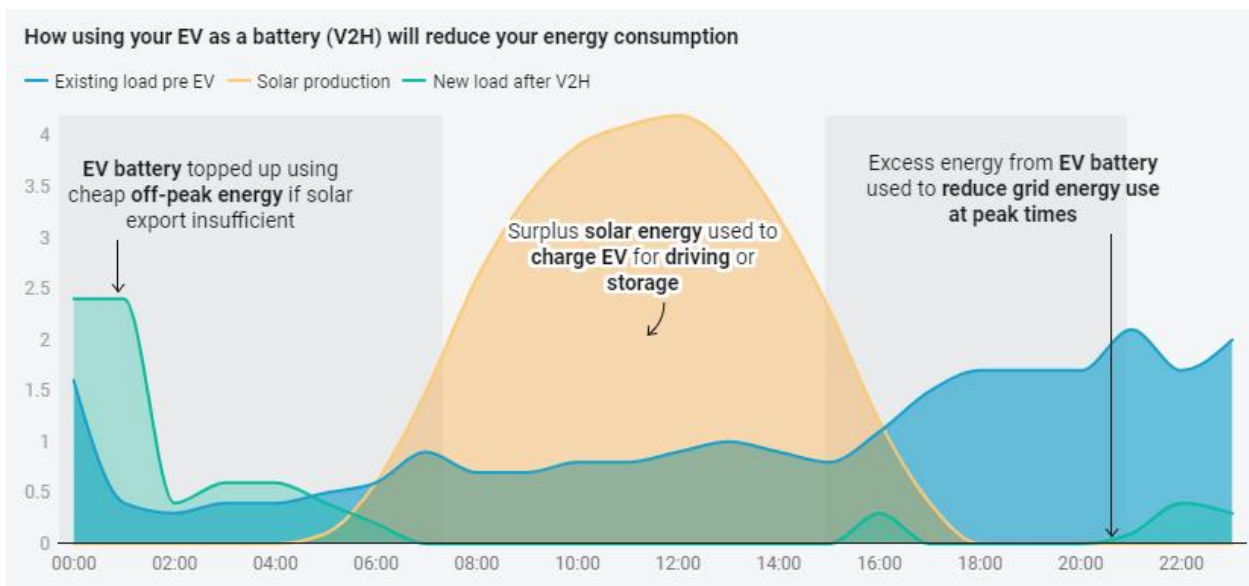


Figura 3-11. Usar un vehículo eléctrico como batería reduce el consumo de energía. Fuente: Zecar.

De esta forma, en términos de sistemas de energía fuera de la red, como son la solar o las baterías, la carga bidireccional podría reducir el tamaño de las baterías de almacenamiento estacionarias domésticas, usando una en lugar de varias y confiando en la batería del automóvil al almacenamiento restante.

Sin embargo, a pesar de los grandes beneficios que presenta el empleo de esta tecnología, también supone grandes desafíos que encarar para que su utilización sea realmente interesante. Así, al igual que un teléfono móvil o cualquier dispositivo de batería, cada vez que un vehículo eléctrico usa energía, su batería sufre una pequeña degradación. De esta forma, usar el coche como almacenamiento de energía además de como medio de transporte diario, aumenta la cantidad de ciclos de carga y descarga completos, lo cual acelera la degradación de la batería, al igual que las cargas ultrarrápidas. La descarga bidireccional es menos exigente para la batería que la conducción, puesto que la intensidad y volatilidad de esta genera más calor, factor clave que acelera la degradación, en comparación con la carga/descarga constante para el uso bidireccional. Esto último puede ser un futuro campo de investigación para conseguir la rentabilidad de esa tecnología.

La pérdida de capacidad de la batería del vehículo, supone una autonomía cada vez menor del vehículo. A pesar de ello, los ahorros potenciales que suponen los vehículos eléctricos para V2H o V2G, pueden compensar el coste económico de la degradación de la batería.

Degradation comparison after 8-years			
	Battery SoH	capacity loss (kWh)	Range loss (km)
Driving 🚚	97.9%	1.5	9.6
V2H 🏠	95.5%	3.3	20.5

Tabla 3-2. Degradación de la batería del vehículo eléctrico después de ocho años. Fuente: Zecar

Una degradación del 4,5% del SoH (State of Health) de la batería supone una pérdida de 3,3 kWh de la capacidad energética y de 21 km de autonomía. Si se estima el coste de degradación anual de unos 1000\$, comparados con los 5000\$ ahorrados que suponen el uso de V2H, resulta interesante la iniciativa.

El uso de esta tecnología resulta de mayor interés en vehículos con baterías de gran volumen y capacidad, como son los camiones o autobuses. En Estados Unidos, existe un autobús escolar, BYD, que cuenta con un sistema V2G, cuya capacidad permite reducir costes y echar una mano a la red eléctrica. Se recarga la batería por las noches, cuando el precio de la energía es bajo, y se aprovecha el excedente de energía después de realizar la ruta al colegio para alimentar la red eléctrica de este. Sus baterías son LFP, de litio-ferrofosfato, baterías seguras y económicas, puesto que no es necesaria una gran autonomía del vehículo, siendo de 225 km. La marca promete un 60% de ahorro respecto a los costes de autobuses de diesel; imaginemos el ahorro en varios años de una flota de autobuses de este tipo.

Todo esto está en fase de estudio y desarrollo. En España, la primera red de carga bidireccional para coches eléctricos, estará en las Islas Baleares, y será promovida por ACCIONA Energía. Será un proyecto piloto, que servirá para analizar patrones de comportamiento para sacar conclusiones sobre la expansión y la maduración de esta tecnología.

### 3.5.3. Reciclaje de batería, segunda vida y reemplazo de baterías asequible

Con el fin de minimizar y reducir el impacto medioambiental y los riesgos para la salud de las personas de cualquier producto, es imprescindible tener en mente el *ecodiseño*, para fomentar la economía circular, de manera que los equipos se reutilicen o reciclen cuando ya no es posible usarlos más. El desecho de las baterías en vertederos es inaceptable, por razones obvias de impacto ambiental. Además, al final de su vida útil es posible darles una segunda vida, como almacenamiento de energía en hogares unos años más. Cuando ya no es posible seguir usándolas, se deben reciclar. Esto reduce impactos, y puede ser rentable económicamente, ya que reduce la necesidad de obtener nuevos materiales para la fabricación de las baterías, particularmente el cobalto y algunas tierras raras.

Es por esto que los procesos de reciclado de las baterías están siendo desarrollado, lo que ha llevado al desarrollo y puesta en marcha de plantas de reciclaje de baterías de ión de Litio, como la de la compañía Hydrovolt, en Fredrikstand, Noruega, que pretende recuperar 8000 toneladas de baterías anualmente. También, un consorcio de empresas formado por Ly-Cycle, Morrow Batteries y Eco-Stor, pretende abrir una segunda planta dedicada al reciclaje al sur del país, que pretende procesar un total de 10000 toneladas de ión-litio al año. El proceso que seña implementado en la planta, denominado **Spoke &**

**Hub**, asegura ser capaz de recuperar el 95% de los materiales de las baterías, sin producir desechos adicionales. La primera fase, la **fase Spoke**, se descargan por completo las baterías, hasta conseguir que el producto sea completamente inerte y, por tanto, seguro. Se separan los plásticos de los metales y se trituran el resto de materiales por medios mecánicos, obteniendo la llamada *black mass*, o masa negra, que pasa a la siguiente fase. En la segunda fase, la **fase Hub**, se recuperan los componentes del ánodo y el cátodo contenidos en la masa negra, a través de hidrometalurgia, de forma que pueden volver a ser usados para la fabricación de nuevas baterías.

Otro aspecto importante para los usuarios de vehículos eléctricos es el reemplazo de la batería a un precio razonable, lo cual es bastante crítico, dado que la batería es el componente más costoso de los vehículos eléctricos, siendo entre un 30% y un 40% del precio total. A pesar de que el uso de los vehículos eléctricos no ha sido hasta ahora muy prolongado, *Nissan* ya ha anunciado que el reemplazo de sus baterías de 24kWh tendrá un coste de 2850 €.

#### 3.5.4. Estandarización de vehículos eléctricos

Además de la necesidad de estandarizar los vehículos y sus componentes en desarrollo, también es importante llevar a cabo esta tarea en los sistemas de carga y en los sistemas V2G, existiendo ya normativa para ello, como *IEC TC69-Electric road vehicles and electric industrial trucks* y la *ISO/TC 22/SC 37- Electrically Propelled Vehicles*. Las principales áreas donde hay más tarea actualmente para la industrialización son los sistemas de carga a través de cable, la transferencia de energía inalámbrica, la interfaz de comunicación del vehículo y la red, las especificaciones relativas a la seguridad o el sistema de baterías de ión de Litio.

#### 3.5.5. Educación técnica.

La previsión de grandes ventas de vehículos eléctricos en los próximos años, trae consigo la necesidad de cualificar a profesionales, tanto para gestión como para el mantenimiento de las flotas, particularmente en la gestión de la carga rápida y de reparación de los vehículos. Adicionalmente, es necesaria una formación de las fuerzas de seguridad, de las urgencias sanitarias y de los bomberos sobre los riesgos asociados al uso de dichos vehículos, como el riesgo de accidentes o de incendio. Al ser más potentes y pesados, los vehículos eléctricos provocan accidentes que pueden ser más peligrosos. Basta pisar el acelerador para tener inmediatamente toda la fuerza del vehículo, lo cual hace que sea más complejo de controlar y, al ser más pesados debido al volumen de sus baterías, las inercias son mayores y, por tanto, las consecuencias son mayores. Por si fuera poco, las propias baterías también suponen riesgo, puesto que al ser golpeadas al circular por un pavimento que no esté bien acondicionado, es fácil provocar un incendio. Esto ocurre cuando se daña el separador de las baterías que aísla el ánodo y el cátodo, ya que al romperse pondría en contacto ambos electrodos, lo cual provocaría cortocircuito, calentándose la solución electrolítica de la batería, que se compone de solventes orgánicos, provocando un incendio. Otra de las causas de incendio e incluso de explosión de una batería es la fuga térmica, donde las altas temperaturas pueden causar reacciones exotérmicas dentro de la propia batería, provocando un sobrecalentamiento que podría desencadenar una explosión.

A pesar de que la meta que tienen los fabricantes de baterías es aumentar la densidad energética, la velocidad de carga y disminuir su degradación a lo largo del tiempo, no pierden de vista la importancia de que estas garanticen la seguridad de su uso, mejorando las técnicas de carga e introduciendo sistemas de empaquetamientos y cerramientos más seguros.



# 4. ELECTRIFICACIÓN DIRECTA O INDIRECTA. ANÁLISIS DE ESCENARIOS PARA ALEMANIA EN 2050

---

## 4.2. Introducción

Según lo acordado en el Acuerdo de París (2015) Alemania tiene como objetivo la reducción de un 80-95% de sus GEI para el año 2050, en comparación con los niveles de gases de efecto invernadero que se registraron en 1990. Hoy en día, el 85% de las emisiones que provocan el efecto invernadero se relacionan con la energía, concretamente con la producción de electricidad (43%), la generación de calor (34%) y el transporte por carretera (22%). Por lo tanto, afrontar la descarbonización por estas tres vías es fundamental para alcanzar la meta del Acuerdo de París.

La electricidad generada por tecnologías renovables supone una opción importante para la descarbonización del sistema eléctrico, a pesar de que su variabilidad implique grandes retos a la hora de estabilizar el sistema. A su vez, las renovables pueden impulsar la descarbonización de usos finales de la energía *no eléctricos*, como la generación de calor o el transporte por carretera. Sin embargo, las aplicaciones de uso final de la energía pueden seguir diferentes caminos:

- **Electrificación directa:** aquí se incluyen los dispositivos que proporcionan calor y transporte usando electricidad **directamente** como entrada. Para la generación de calor es el caso de los calentadores eléctricos o las bombas de calor eléctricas. Para el transporte por carretera, se considera electrificación directa los vehículos eléctricos con batería, los híbridos enchufables o los tranvías, que toman electricidad de una red de cables aéreos.
- **Electrificación indirecta:** aquí se incluyen los dispositivos de calefacción y transporte que consumen electricidad a través de **combustibles sintéticos**; aquí podemos incluir la electrólisis del hidrógeno sintético. Este combustible sintético se convierte en calor, mediante calentadores de gas, bombas de calor de gas e instalaciones de cogeneración, y también en tracción, utilizando la energía eléctrica de pila de combustible.

Estas dos vías de electrificación, compiten entre sí por el uso de la energía renovable. Ambas presentan ventajas y desventajas, por lo que no es obvia la combinación o la elección de uno de estos dos tipos de electrificación para llevar a cabo la descarbonización. Por ejemplo, la electrificación directa suele ser mejor en términos de eficiencia, mientras que la indirecta presenta ventaja a la hora de ser almacenada en un largo plazo. Muchas de las tecnologías que utilizan la electrificación directa o indirecta aún no se encuentran maduras, por lo que su desempeño final se somete a cierta incertidumbre todavía.

En este estudio tratará de evaluar qué papel jugará la electrificación del calor y el transporte por carretera en los futuros sistemas energéticos, con cuánta electricidad renovable adicional se necesitará

para los nuevos usos finales de energía eléctrica, y en qué medida la electrificación directa e indirecta se sustituyen y complementan

### 4.3. Escenarios energéticos revisados

Como consecuencia del aumento del consumo final de la energía desde 2014, el estudio considera un consumo adicional de electricidad para el sistema energético alemán. Puntualizar que las conclusiones de este análisis son equiparables y representativas para de condiciones similares a Alemania. Para comparar, se consideran dos criterios, la reducción de emisiones de GEI y el uso final de la energía.

No.	Referencia	Electrificación de calor		Transporte Electrificación		DGEI		
		Edificios	Industria	Coches	Camiones	Tendencia	- 80%	- 85%
1	DLR et al. [18]			✓	✓		80%	
2	Instituto Oeko [19]			✓	✓		80%	
3	Prognos et al. [20]	✓	✓	✓	✓		84%	90%
4	UBA [21]	✓	implicito	✓	✓		80%	
5	DLR et al. [22]			✓	✓		80%	100%
6	Heilek [23]	✓					80%	
7	Oeko-Institut y Fraunhofer ISI [24]	✓	implicito	✓	✓	54%	80%	95%
8	Robinio [25]			✓	✓		80%	
9	Nitsch [26] <sup>a</sup>	✓	✓	✓	✓	58%		95%
10	Palzer [28]	✓	implicito	✓	✓		80%	86%
11	Quaschnig [29] <sup>b</sup>	✓	✓	✓	✓			100%
12	Fraunhofer IWES/IBP [30] <sup>c</sup>	✓	✓	✓	✓		83%	95%
Total						3	12	7

Tabla 4-1. Estudios considerados en el análisis. Fuente: Elsevier

#### 4.3.1. Criterios de comparación

Para comparar los escenarios considerados en el estudio, se consideran dos criterios.

##### 4.3.1.1. Reducción de emisiones de GEI

El objetivo de reducción de 1,5 °C y 2 °C del Acuerdo de París, se traduce como una reducción del 80-95% de los GEI. Para el análisis, se consideran las siguientes categorías:

- **Tendencia:** engloba aquellos escenarios considerados en el análisis que no cumplen con el objetivo de reducción de emisiones.
- $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$  : engloba aquellos escenarios en los que las emisiones se reducen lo suficiente como para alcanzar el límite inferior del objetivo, es decir, al menos un 80%. Sin embargo, no consigue superarlo mucho más.
- $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$  : engloba aquellos escenarios en los que las emisiones se reducen un 85% o más.

##### 4.3.1.2. Uso final de energía

Con respecto a las aplicaciones de uso final de la energía, distinguimos entre: calor para **edificios** y **para procesos industriales**, así como entre **automóviles** y **camiones**, lo que resulta útil para nuestra evaluación de escenarios.

### 4.3.2. Método de evaluación

Como se ha dicho, el estudio revisa el papel esperado de la electrificación directa e indirecta del calor y el transporte por carretera en el sistema energético alemán en 2050 desde dos perspectivas diferentes:

#### 4.3.2.1. Sistema eléctrico

Se determina el consumo de electricidad para calor y transporte por carretera, diferenciando dos campos claros: objeto de electrificación, es decir, **generación de calor y transporte por carretera**, y tipo de electrificación, es decir, **directa e indirecta**. En cuanto a la electrificación indirecta, se identifica la cantidad de electricidad que se convierte en gases sintéticos y, a menos que se indique lo contrario, se asigna en parte a la generación de calor y al transporte por carretera de acuerdo con la participación de estos usos finales en el consumo total de gas.

#### 4.3.2.2. Uso final de la energía

Para el cálculo de la tasa de electrificación lo hacemos de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de electrificación} = \frac{\text{Energía eléctrica útil}}{\text{Energía útil total}}$$

Para entender esta tasa podemos hacerlo con el siguiente ejemplo: si uno de cada dos automóviles es un vehículo eléctrico de batería, y cada dos kilómetros se conduce eléctricamente, la participación de la electrificación en la energía útil será del 50 %, es decir, su tasa de electrificación es un 50%.

Por un lado, la *tasa de electrificación* en la generación de calor se cuantifica en términos de calor útil. Dentro de este calor útil, que podemos traducirlo en demanda de calor, distinguimos entre aplicaciones de **calor en edificios**, que incluyen calefacción de espacios y termos de agua caliente, y el **calor para procesos industriales**, que requieren un calor de nivel de temperatura mucho más alto que la calefacción del hogar. Por otro lado, sin embargo, en la *tasa de electrificación* en el transporte por carretera, se considera energía útil la energía de tracción, distinguiendo entre automóvil y camiones.

### 4.3.3. Resultados del estudio

En este apartado se muestran los resultados de la revisión de escenarios centrándose en el consumo de electricidad para calefacción y transporte por carretera, las cuotas de electrificación del calor, y las cuotas de electrificación del transporte por carretera. Finalmente, se revisan los supuestos tecnológicos subyacentes y se vinculan con los resultados anteriores.

#### 4.3.3.1. Consumo de electricidad para calefacción y transporte por carretera

Puesto que no todos los escenarios analizados cubren con todo el sistema de calor y transporte considerado, es necesario hacer una distinción a la hora del análisis, considerando en el gráfico de la izquierda la inclusión del calor derivado de la energía industrial y excluyéndolo en el de la derecha de la **Figura 1**. El *consumo de electricidad para el transporte por carretera* y el *consumo de electricidad para calefacción*, son las dos “variables de decisión”, que se muestran en los ejes y definen la posición de los puntos, que representa la reducción de GEI para cada uno de los escenarios de la **Tabla 1**. Las líneas de contorno que se muestran en diagonal representan el consumo total de electricidad, tanto para la generación de calor como para el transporte por carretera.

Se puede observar que en todos los escenarios en los que se cumple con los objetivos de reducción de emisiones  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$  y  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ , la electricidad para la generación de calor está en un rango de 269-157 TWh si se incluye el calor de los procesos industriales y en 63-199 TWh si no se incluyen. El

consumo de electricidad para el transporte por carretera está entre 71 TWh y 281 TWh, donde se incluyen los vehículos de batería y los camiones como parte del consumo directo así como aquellos que emplean la energía procedente de combustibles sintéticos.

Se intuye observando los gráficos que la electrificación es muy sensible a la mitigación de GEI, puesto que cuantas más emisiones se reduzcan más electricidad se consume para la electrificación de la generación de calor y del transporte por carretera. Es obvio que esta electricidad adicional debe generarse a partir de fuentes libres de carbono para que tenga un efecto positivo en la reducción de emisiones de GEI. Esto es muy destacable para el transporte por carretera. Puede observarse en el gráfico de la derecha el consumo de electricidad está en el rango de 71 TWh a 146TWh en  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$ , mientras que alcanza valores de 156TWh a 281TWh para  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ . Por el contrario, la relación entre la reducción de GEI y el consumo de electricidad para la generación de calor es bastante débil; entre 63TWh y 138TWh para  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$  y entre 70TWh y 199TWh para  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ .

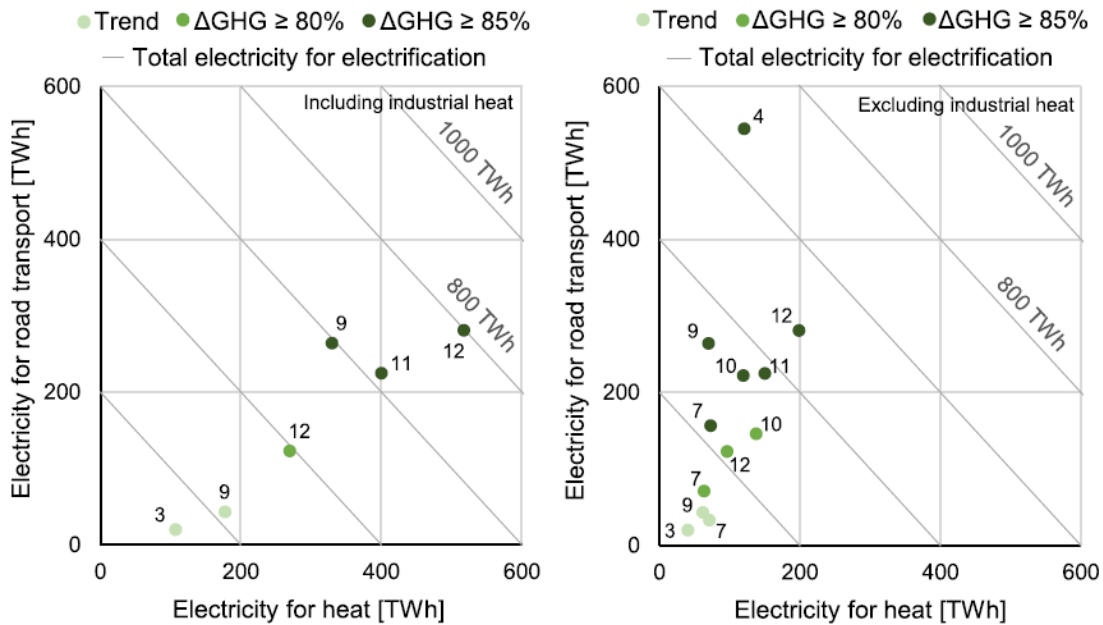


Figura 4-1. Consumo de electricidad para el calor y el transporte por carretera, considerando el calor de procesos industriales (izquierda) y excluyéndolo (derecha). Fuente: Elsevier

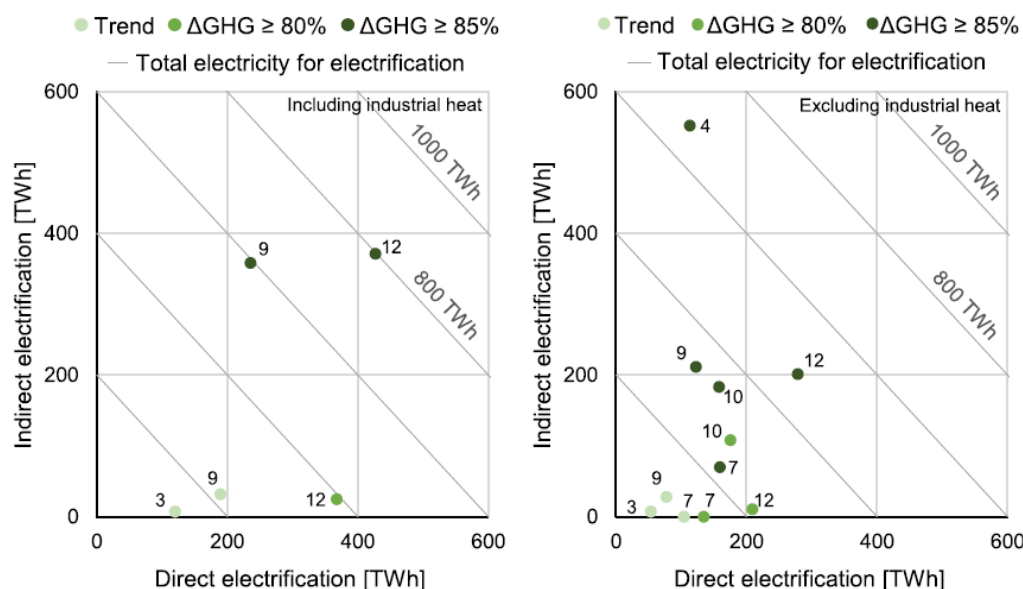


Figura 4-2. Consumo de electricidad para electrificación directa e indirecta, incluyendo procesos industriales (izquierda) y excluyéndolos (derecha). Fuente: Elsevier

En la **Figura 3** se evalúa el consumo de electricidad para calefacción y transporte por carretera utilizando como criterio el tipo de electrificación. En los ejes del gráfico se muestra el consumo de electricidad para electrificación directa y el consumo de electricidad para electrificación indirecta. Como antes, el consumo total de electricidad se muestra en las líneas de contorno que se muestran en diagonal.

En este caso, para los escenarios que cumplen con  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$  y  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$  (85%), el consumo de electricidad para electrificación indirecta varía en un rango mucho más amplio que el consumo de electricidad para electrificación directa. Esto puede observarse en el caso que no considera los procesos industriales, donde los rangos son de 0 TWh a 552 TWh, que se comparan con 113 TWh a 278 TWh. Esto podría explicarse por la baja eficiencia de conversión que posee la electrificación indirecta, lo que hace aumentar su consumo eléctrico.

De nuevo, se pueden sacar conclusiones sobre la conexión entre la reducción de emisiones de GEI y la electrificación. Para los escenarios que alcanzan los objetivos de reducción de emisiones,  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$ , el consumo de electricidad para la electrificación directa es mucho mayor que para el de electrificación indirecta. En cambio, si se reducen las emisiones en mayor medida, como en  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ , se amplifica la cantidad de electrificación indirecta, lo cual puede ser explicado con la necesidad de almacenamiento a largo plazo de la energía para equilibrar la generación y el consumo de energía renovable.

#### 4.3.3.2. Electrificación del transporte por carretera

Desde un punto de vista de uso final de la energía del transporte por carretera, comparamos la electrificación directa, utilizando vehículos eléctricos a batería y tranvías, con la electrificación indirecta, utilizando hidrógeno sintético como combustible en vehículos de pila de hidrógeno y en vehículos que emplean como combustible metano sintético. En la Figura se presentan los resultados

los resultados del análisis. Los puntos están numerados con los números correspondientes a cada estudio de la Tabla 1.

Con respecto al transporte de vehículos (izquierda), los escenarios se pueden diferenciar entre sí con respecto a la participación de la electrificación total (líneas de contorno en diagonal): aquellos escenarios que alcanzan el objetivo de reducción de emisiones  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$  se encuentran en el rango de 41-75%, mientras que el resto de reducciones de GEI  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$  llevan a participaciones totales de electrificación del 70-100%. Se puede observar una tendencia hacia la electrificación directa de automóviles, aunque los escenarios no presentan un dominio común por completo. La participación de electrificación directa está en el rango de 19-66% para  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$  y 38-95% para  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ , mientras que la correspondiente indirecta varía entre 0-46% para ambos objetivos.

Solo algunos escenarios presentan electrificación para alcanzar  $\Delta\text{GEI} \geq 80\%$ , mientras que muchos incluyen hasta el 95%. Sin embargo, si las emisiones se reducen en  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ , todos los escenarios soportan al menos el 51% de la electrificación total.

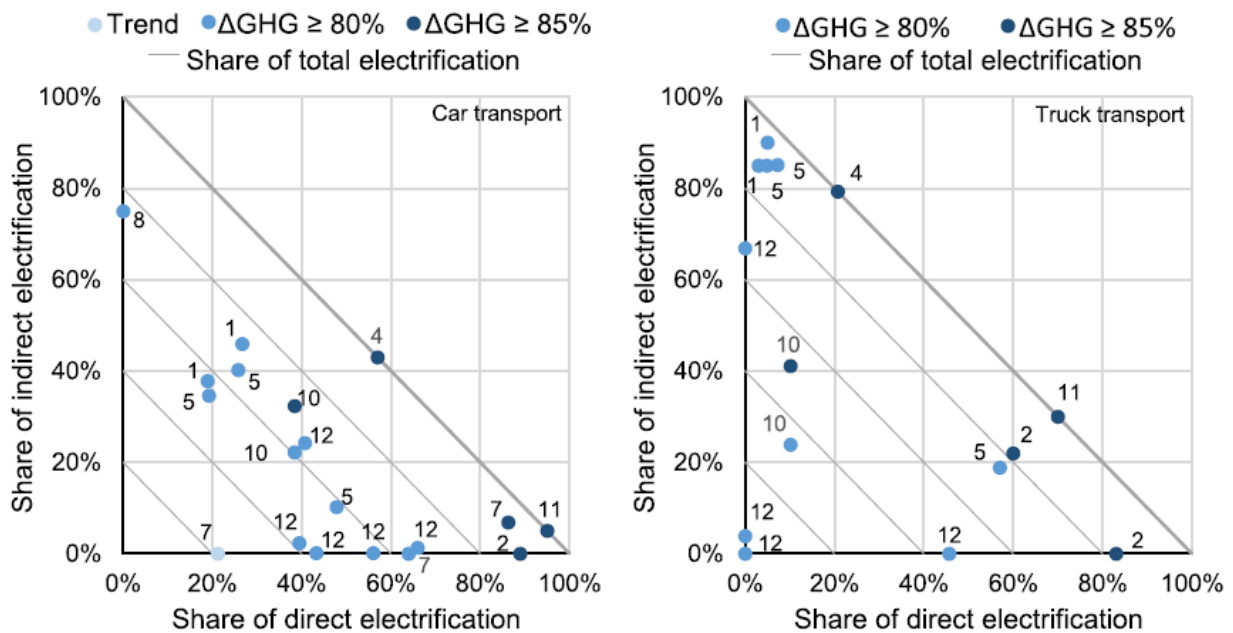


Figura 4-3. Porcentaje de electrificación directa a indirecta y de electrificación total (líneas grises) relacionados con la energía útil en transporte de automóviles (izquierda) y en transporte de camiones (derecha). Fuente: Elsevier

En la Figura 7, se representa la proporción de combustibles sintéticos que se emplearán en el transporte en automóviles y camiones. El combustible dominante es el hidrógeno sintético para el electrificado indirecto de automóviles, que se presenta como combustible principal en siete de cada diez escenarios, donde los combustibles sintéticos suministran más del 20% del transporte total de automóviles. Por el contrario, es más probable que se encuentren escenarios con una alta proporción de metano para el transporte con camiones. Una posible explicación podría ser que el metano se puede usar en motores de combustión interna convencionales, y como la mayor demanda de combustible debido al peso de los camiones requiere celdas de combustible más grandes y, por lo tanto, más pesadas, lo que dificulta

la electrificación indirecta a base de hidrógeno. Curiosamente, tanto para el transporte de automóviles como de camiones, los líquidos sintéticos solo se consideran para  $\Delta\text{GEI} \geq 85\%$ .

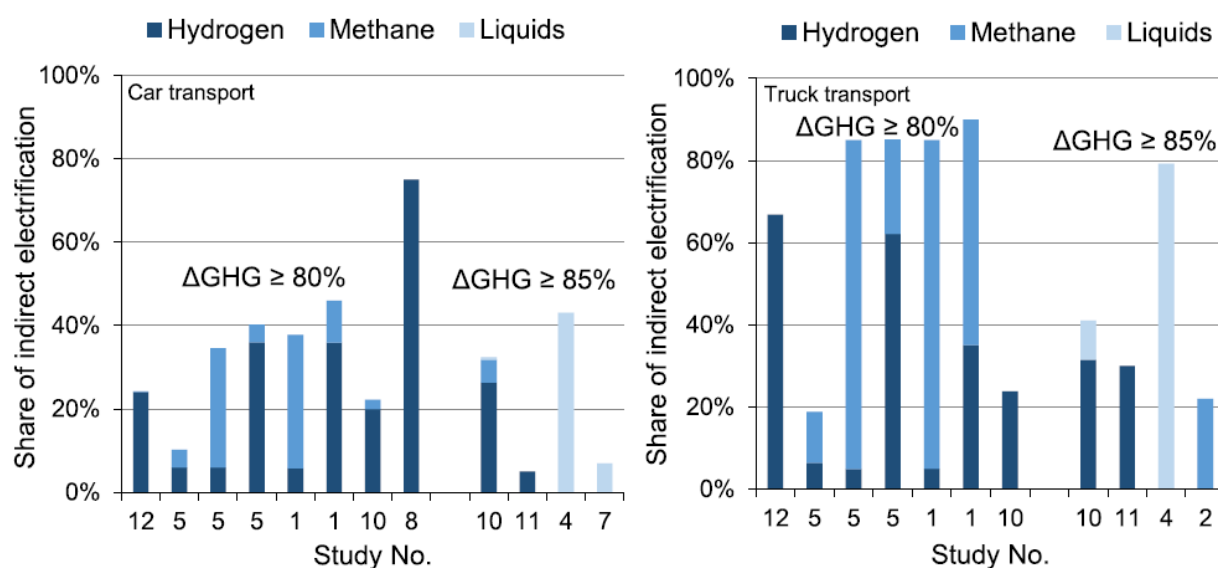


Figura 4-4. Porcentaje de combustibles sintéticos relacionados con la energía útil en transporte de automóviles (izquierda) y de camiones (derecha). Fuente: Elsevier

#### 4.3.4. Tecnologías de electrificación

Las tecnologías que desarrollan combustibles sintéticos para la obtención de electricidad, así como su distribución, son claves para la electrificación indirecta. En la **tabla 2** se resumen las eficiencias de conversión asumidas para todos los escenarios que consideran la electrificación indirecta.

No.	Referencia	Energía a hidrógeno	Energía a metano
1	DLR et al. [18]	76%	61%
2	Instituto Oeko [19]	70%	53%
4	UBA [21]	72%	58%
5	DLR et al. [22]	70% y 80%	56%
8	Robinio [25]	70%	mi
10	Palzer [28]	80%	64%

Tabla 4-2. Eficiencias de conversión de los combustibles sintéticos asumidos por los escenarios considerados para el análisis. Fuente: Elsevier

La eficiencia de los escenarios que consideran la obtención de energía como fuente, mediante la electrólisis, varían entre el 65% y el 80%, donde se supone la disponibilidad de producir la electrólisis a alta temperatura, de manera más eficiente, procedimiento no probado comercialmente en la actualidad. Por otro lado, la conversión de metano en energía oscila entre el 53% y el 64%. La eficiencia de tecnologías es incierta, a lo cual se suma la dependencia que tiene con el tipo de  $\text{CO}_2$  utilizado como fuente.

Teniendo en cuenta la distribución a gran escala, el hidrógeno precisa de una infraestructura novedosas y tecnológicamente también incierta. Por el contrario, el metano sintético es posible distribuirlo y almacenarlo en la infraestructura actual del gas natural de nuestros días.

En la siguiente tabla se muestra una visión general del aumento de la eficiencia en el transporte por carretera en 2050, comparándola con los datos de la década de 2010.

No.	Reference	Combustion engine vehicles	Battery electric vehicles	Fuel cell electric vehicles
2	Oeko-Institut [19]	54–64%	39%	Considered
3	Prognos et al. [20]	40%	27%	21%
5	DLR et al. [22]	27–30%	27%	28%
7	Oeko-Institut and Fraunhofer ISI [24] TREND [TARGET]	30–36% [49–57%]	18% [31%]	Not considered
12	Fraunhofer IWES et al. [31]	37-30%	Considered	Considered

Tabla 4-3. Aumento de eficiencia en el transporte por carretera con vehículos en el año 2050, considerando los estudios de este análisis. Fuente: Elsevier

A pesar de la madurez tecnológica de los vehículos con motor de combustión, los diferentes escenarios consideran un aumento de eficiencia del 27% al 64%, lo cual reduce la demanda de combustibles sintéticos y biocombustibles. Sin embargo, puede apreciarse un aumento de eficiencia en de los vehículos eléctricos con batería generalmente menor, lo cual nos lleva a deducir de la eficiencia actual del motor eléctrico actual.

No.	Reference	Combustion engine vehicles	Electric vehicles with		
			Batteries	Overhead wires	Fuel cells
1	DLR et al. [18]	Considered	Not considered	Not considered	Considered
2	Oeko-Institut [19]	30–40%	16%	Considered	Not considered
3	Prognos et al. [20]	15–30%	29%	Not considered	Not considered
4	UBA [21]	50%	Not considered	Not considered	Not considered
5	DLR et al. [22]	31–36%	Not considered	Considered	Considered
7	Oeko-Institut and Fraunhofer ISI [24] TREND [TARGET]	30%	Considered	Not considered [Considered]	Not considered
10	Palzer [28]	Considered	Considered	Not considered	Considered
11	Quaschnig [29]	Considered	Not considered	Considered	Not considered
12	Fraunhofer IWES et al. [31]	31–34%	Considered	Considered	Considered

Tabla 4-4. Aumento de eficiencia de las tecnologías del transporte de camiones en 2050, considerando los escenarios de este análisis. Fuente: Elsevier

El transporte de camiones, donde las alternativas tecnológicas al motor de combustión, aún se encuentra en una etapa más temprano que para los automóviles. Como se comentó anteriormente, la electrificación del transporte de camiones por cables aéreos puede resultar una condición necesaria para aumentar la electrificación directa más del 20%.

#### 4.4. Conclusiones del estudio

Este estudio, que evalúa distintos escenarios, demuestra que la electrificación tiene un papel fundamental para conseguir una reducción de gases de efecto invernadero. Se concluye el capítulo con las siguientes premisas:

1. Debido al uso intensivo de la electricidad, el consumo de calor y de transporte por carretera se espera que aumente a 400-800 TWh para 2050. Para alcanzar este rango, cuanto más reduzcan las emisiones de GEI, más combustibles fósiles en los sectores de uso final de energía se espera que sean substituidos por la electricidad renovable. Es crucial por tanto que los gobiernos traten de considerar esta necesidad adicional de energías renovables, así como de mantener una alta aceptación social de estas y así permitir un mayor crecimiento de la electricidad eólica y solar.



2. Se espera que el 40-95% de la electricidad suministrada en Alemania en 2050 corresponda la generación de calor. La electrificación térmica se producirá de forma directa.
3. Se espera que la electrificación compense entre el 40-100% del transporte por carretera en Alemania. Además, cuanto más se reduzcan las emisiones de GEI, más se espera que se electrifique el transporte eléctrico por carretera. Los escenarios revisados no muestran claramente si es mejor electrificar el transporte de forma directa o indirecta. Aunque se espera que al menos el 20% de los automóviles sean vehículos de batería, el destino del resto es incierto.
4. Los resultados de varios escenarios revelan una clara tendencia hacia la electrificación, siendo la innovación, ante la clara incertidumbre tecnológica, clave para cualquier de las vías propuestas de descarbonización, directa o indirecta, propuestas.
5. Se debe puntualizar que este análisis encontró dificultades a la hora de comparar algunos de los escenarios considerados, debido a la heterogeneidad de est

## 5. CONCLUSIONES

---

Tras haber analizado la actualidad de la electrificación del transporte pesado y las dificultades que esto conlleva, se puede concluir que es una tecnología que, a pesar de encontrarse en vía de desarrollo, promete una gran evolución en las próximas décadas, puesto que es crucial para la reducción de la contaminación. Para ello, además de ser fundamental una investigación en profundidad sobre las posibilidades para electrificar el transporte, es importante la intervención por parte de los Gobiernos en la sociedad, para incentivar al uso del transporte eléctrico, así como para acelerar la construcción de la gran infraestructura que es precisa para el uso de este con facilidad. Sin duda, en pocos años, ya no nos extrañará ver habitualmente camiones eléctricos, y las ciudades constarán de un aire más limpio, libre de gases contaminantes, gracias a la movilidad eléctrica, que está llegando para quedarse.

# REFERENCIAS

---

- [1] Genevieve Giuliano, Maged Dessouky, Sue Dexter, Jiawen Fang, Shichun Hu, Marshall Miller. (2021). *Heavy-duty trucks: The challenge of getting to zero*. Recuperado de [www.elsevier.com/locate/trd](http://www.elsevier.com/locate/trd)
- [2] Paulo G. Pereirinha, Manuela González, Isabel Carrilero, David Anseán, Jorge Alonso, Juan C. Viera. (2018). *Main Trends and Challenges in Road Transportation Electrification*. Recuperado de [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [3] Oliver Ruhnau, Sergej Bannika, Sydney Otena, Aaron Praktijn, Joaquin, Martín Robinio. (2019). *Direct or indirect electrification? A review of heat generation and road transport decarbonisation scenarios for Germany 2050*. Recuperado de [www.elsevier.com/locate/energy](http://www.elsevier.com/locate/energy)
- [4] Hoda Talebian, Omar E. Herrera, Martino Tran, Walter Mérida. (2018). *Electrification of road freight transport: Policy implications in British Columbia*. Recuperado de [www.elsevier.com/locate/enpol](http://www.elsevier.com/locate/enpol)
- [5] ABB. (2022). *ABB E-MOBILITY GLOBAL PRODUCT PORTFOLIO*. Recuperado de [https://library.e.abb.com/public/66b252ed5dbe4a7ea15cefff4e5d08fd/ABB\\_Emobility%20Global%20Portfolio%20brochure\\_01\\_22.pdf](https://library.e.abb.com/public/66b252ed5dbe4a7ea15cefff4e5d08fd/ABB_Emobility%20Global%20Portfolio%20brochure_01_22.pdf)
- [6] National Grid, CALSTART, RMI, Stable Auto, Geota. (202). *Electric Highways: Accelerating and Optimizing Fast-Charging Deployment for Carbon-Free Transportation*. Recuperado de <https://calstart.org/electric-highways-study/>
- [7] ABB. (2021). *ABB charging solutions for electric truck and van fleets*. Recuperado de <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108466A1709&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [8] Kadellar. (2023). *Vehículo eléctrico*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_el%C3%A9ctrico)
- [9] Abigail Orús. (2022). *El mercado de los coches eléctricos en el mundo - Datos estadísticos*. Recuperado de <https://es.statista.com/temas/8643/el-mercado-de-los-coches-electricos-en-el-mundo/#dossierKeyfigures>
- [10] InternetArchiveBot. (2023). *Uso del automóvil eléctrico*. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Uso\\_del\\_autom%C3%B3vil\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Uso_del_autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico)
- [11] MAN Newsroom Corporate. (2022). *MAN accelerates change to zero-emission drive systems*. Recuperado de <https://press.mantruckandbus.com/corporate/man-accelerates-change-to-zero-emission-drive-systems/>
- [12] Gesthispania. (2020). *LOS TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: TODA LA INFORMACIÓN*. Recuperado de <https://gesthispania.com/los-tipos-de-vehiculos-electricos-toda-la-informacion/>
- [13] Danny Thai. (2022). *Watt is Bidirectional Charging, V2G, V2H, V2L?*. Recuperado de <https://zecar.com/resources/watt-is-bidirectional-charging-v2g-v2h-v2l/#What%20is%20Bidirectional%20Charging%20and%20How%20Does%20it%20Work?>
- [14] Diego Gutiérrez. (2022). *Conducimos el MAN eTruck, el primer camión eléctrico de larga distancia de MAN*. Recuperado de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/pruebas/conducimos-man-etruck-primero-camion-electrico-larga-distancia-man/20221024140611063933.html>
- [15] Rincón Práctico. (2022). *El coche ELÉCTRICO y su BATERÍA ¿Qué pasas con su Reciclaje? De PROBLEMA a NEGOCIO REDONDO*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=cDPcIkoHq4Q>

- [16] Marcos Crespo. (2022). *Noruega tendrá una nueva planta de reciclaje de baterías de ion-litio*. Recuperado de <https://forococheselectricos.com/2022/01/noruega-planta-reciclaje-bateria-ion-litio.html>
- [17] Javier Gómara . (2022). *Traton, Mercedes y Volvo fundan JV, la Ioney para camiones eléctricos en Europa*. Recuperado de [https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/jv-infraestructura-carga-camiones-electricos\\_60213\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/jv-infraestructura-carga-camiones-electricos_60213_102.html)
- [18] Northvolt. (2022). *Bringing electric long-haul trucks to life*. Recuperado de <https://northvolt.com/articles/bringing-electric-long-haul-trucks-to-life/>
- [19] Magnus Broback. (2021). *Por qué se prevé la ampliación de la infraestructura de carga para camiones eléctricos de gran tonelaje*. Recuperado de <https://www.volvotrucks.es/es-es/news/insights/articles/2021/nov/charging-infrastructure-for-electric-trucks.html>
- [20] Alberto Pérez. (2022). *Las estaciones de carga para camiones eléctricos necesitarán tanta potencia como un pueblo pequeño*. Recuperado de [https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/estaciones-carga-camiones-necesitaran-tanta-potencia-electrica-como-ciudad-pequena\\_64854\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/estaciones-carga-camiones-necesitaran-tanta-potencia-electrica-como-ciudad-pequena_64854_102.html)
- [21] Global EVoutlook. (2022). *Trends in electric heavy-duty vehicles* . Recuperado de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-heavy-duty-vehicles>
- [22] Diego Gutiérrez. (2022). *La autopista con catenaria para camiones, un éxito en sus primeros años de pruebas*. Recuperado de [https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/autopista-con-catenaria-camiones-exito-en-sus-primeros-anos-pruebas\\_68480\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/camiones/autopista-con-catenaria-camiones-exito-en-sus-primeros-anos-pruebas_68480_102.html)
- [23] Somos eléctricos. (2022). *Geely muestra su sistema de intercambio de baterías para camiones eléctricos*. Recuperado de <https://somoselectricos.com/geely-muestra-sistema-intercambio-baterias-camiones-electricos/>
- [23] Antonio Rubio. (2022). *Probamos el Scania 25P BEV, la electromovilidad urbana*. Recuperado de <https://solocamion.es/probamos-el-scania-25p-bev-la-electromovilidad-urbana/>
- [24] Heliox Energy. *Flex 180 kW* . Recuperado de <https://es.heliox-energy.com/products/flex-180kw-rapid-charger>
- [25] Mark Kane. (2021). *Nikola Delivers First Nikola Tre Battery-Electric Trucks*. Recuperado de <https://insideevs.com/news/555495/nikola-tre-first-trucks-delivered/>
- [26] Grace Donnelly. (2022). *When it comes to electrifying transportation, heavy-duty vehicles lag far behind*. Recuperado de <https://www.emergingtechbrew.com/stories/2022/06/10/when-it-comes-to-electrifying-transportation-heavy-duty-vehicles-lag-far-behind>
- [27] ROB NIKOLEWSKI. (2022). *California aumenta los incentivos para vehículos eléctricos a los compradores con ingresos bajos o moderados*. Recuperado de <https://www.latimes.com/espanol/california/articulo/2022-12-30/california-aumenta-los-incentivos-para-vehiculos-electricos-a-los-compradores-con-ingresos-bajos-o-moderados#:~:text=Los%20clientes%20que%20cumplan%20los,pila%20de%20combustible%20de%20hidr%C3%B3geno.>
- [28] Transport of London. Ultra Low Emission Zone. Recuperado de <https://tfl.gov.uk/modes/driving/ultra-low-emission-zone>
- [29] Portal web del Ayuntamiento de Madrid. (2022). *Madrid Zona de Bajas Emisiones (ZBE)*. Recuperado de <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Zonas-de-Bajas-Emisiones/Madrid-Zona-de-Bajas-Emisiones/Madrid-Zona-de-Bajas-Emisiones-ZBE->

[/?vgnextfmt=default&vgnextoid=93e63877029eb710VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=d2d2edf0f70ab710VgnVCM2000001f4a900aRCRD](https://www.sevilla.org/actualidad/blog/9-claves-sobre-el-proyecto-de-zona-de-bajas-emisiones-en-el-pct-cartuja)

[30] Ayuntamiento de Sevilla. *9 claves sobre el proyecto de 'Zona de Bajas Emisiones' en el PCT Cartuja*. Recuperado de <https://www.sevilla.org/actualidad/blog/9-claves-sobre-el-proyecto-de-zona-de-bajas-emisiones-en-el-pct-cartuja>

[31] Alejandra Otero. (2021). *El veto a camiones y autobuses sin etiqueta en la ZBE de Barcelona es inminente: el sector del transporte ya se está movilizándose*. Recuperado de <https://www.motorpasion.com/furgonetas-y-caravanas/veto-a-camiones-autobuses-etiqueta-zbe-barcelona-inminente-sector-transporte-se-esta-movilizando>

[32] Saral Chauhan, Malte Hans, Moritz Rittstiegl, and Saleem Zafar. (2023). *Why the economics of electrification make this decarbonization transition different*. Recuperado de <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/why-the-economics-of-electrification-make-this-decarbonization-transition-different?stcr=F2E91F7E3B364985951002C7AEE3335D&cid=other-eml-alt-mip-mck&hlkid=5029d8f5ce4c43abb7c63ff53e942ad0&hctky=14384135&hdpid=4eb1e872-7192-48d7-b6cb-0642d205d4c5>

[33] Manuel Hiermeyer. (2022). *MAN accelerates change to zero-emission drive systems*. Recuperado de: <https://press.mantruckandbus.com/corporate/man-accelerates-change-to-zero-emission-drive-systems/>

[34] IVECO GROUP. (2022). *IVECO signs MoU with Enel X to develop e-mobility for commercial vehicles in Europe*. Recuperado de: [https://www.ivecogroup.com/media/corporate\\_press\\_releases/2022/march/iveco\\_signs\\_mou\\_with\\_enel\\_x\\_to\\_develop\\_e\\_mobility](https://www.ivecogroup.com/media/corporate_press_releases/2022/march/iveco_signs_mou_with_enel_x_to_develop_e_mobility)

[35] Volvo Trucks. (2019). *Volvo Trucks ready to electrify a large part of goods transports*. Recuperado de: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2021/apr/volvo-trucks-now-ready-to-electrify.html>



# GLOSARIO

---

ISO: International Organization for Standardization

4

UNE: Una Norma Española