



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

EVALUACION ECONOMICA Y MEDIOAMBIENTAL  
DEL VEHICULO ELECTRICO

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL  
ASSESSMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE

Autor

Jesús Escobedo Moreno

Director

José Luis Bernal Agustín

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad  
de Zaragoza

Año: 2024

# Evaluación económica y medioambiental del vehículo eléctrico

## Resumen

Actualmente las personas se están dando cuenta de que necesitamos hacer una transición hacia un mundo más sostenible. Para realizar esta transición se necesita la implantación de nuevas tecnologías más eficientes y sostenibles en los sectores clave.

Este trabajo se va a centrar en el sector transporte, ya que es el sector que más energía consume en España y como pilar fundamental de este cambio se va a fijar el vehículo eléctrico como llave para la descarbonización del sector.

A lo largo de este trabajo se va a contextualizar que es el vehículo eléctrico, teniendo en cuenta distintos aspectos como su funcionamiento, características técnicas, infraestructuras de recarga, la operación del sistema, con el fin de conocer los beneficios e inconvenientes y saber cuál es el estado actual de evolución de los vehículos eléctricos en España y en Europa.

Una vez recopilados todos los datos posibles, el objetivo principal del trabajo es realizar un análisis económico, medioambiental y una revisión de políticas acerca de esta transición, con el fin de realizar una comparación exhaustiva entre los vehículos de combustión interna y los eléctricos, eliminando los mitos de que los vehículos eléctricos son muy contaminantes y demostrando con datos fehacientes que a la largo son más beneficiosos tanto para el medio como para los bolsillos de los usuarios.

Además, para terminar el trabajo se va a hacer hincapié en las nuevas tecnologías que la implantación del vehículo eléctrico va a hacer que se creen o que se potencien como es el caso de la integración de las energía renovables, con beneficios bidireccionales para ambas tecnologías y la creación de las SmartGrids como una nueva forma de distribuir la energía.



## Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia y amigos por el apoyo que me han proporcionado durante esta etapa universitaria que culmina con este trabajo.

Por otro lado, agradecer a los profesores que me he encontrado a lo largo de este trayecto y en especial a José Luis Bernal por haberme ayudado en todo lo necesario para sacar este proyecto adelante y por todo lo que me ha enseñado por el camino.



## Índice

Evaluación económica y medioambiental del vehículo eléctrico .....	2
Resumen .....	2
Agradecimientos.....	4
Índice de figuras .....	10
Introducción.....	16
1.1    Contextualización del tema .....	16
1.2    Objetivos .....	18
1.3    Metodología .....	18
Memoria .....	20
2.    Vehículo eléctrico .....	20
2.1    Definición y características .....	20
2.1.1    Tipos de vehículos eléctricos .....	20
2.1.2    Componentes principales .....	21
2.1.3    Infraestructuras de recarga .....	24
2.1.4    Características técnicas .....	26
2.2    Ventajas e inconvenientes del vehículo eléctrico .....	29
2.2.1    Ventajas .....	29
2.2.2    Inconvenientes .....	29
2.3    Situación actual de los vehículos .....	30
2.3.1    Europa .....	30
2.3.2    España.....	35
3.    Infraestructuras y operación del sistema eléctrico .....	37
3.1    Infraestructura de cargadores en España .....	37
3.2    Demanda estacional y cuellos de botella .....	38
3.3    Operación del sistema eléctrico .....	39
3.3.1    Gestión de la demanda .....	40
4.    Análisis de ciclo de vida de los vehículos eléctricos .....	42
4.1    Producción de vehículos eléctricos .....	42
4.1.1.1    Extracción de materias primas .....	42
4.1.1.2    Procesamiento y refinamiento .....	42
4.1.1.3    Fabricación de componentes .....	43
4.1.1.4    Ensamblaje y proceso final.....	43
4.1.2    Uso y operación.....	44
4.1.3    Fin de vida útil y reciclaje de baterías.....	44

5.	Análisis del TCO.....	46
5.1.	Adquisición.....	46
5.2.	Operación .....	48
5.3.	Mantenimiento .....	49
5.4.	Impuestos asociados .....	49
5.4.	TCO .....	50
6.	Análisis del Impacto ambiental durante el ciclo de vida .....	52
6.1.	Fabricación .....	52
6.2.	Operación .....	53
6.3.	Mantenimiento .....	54
7.	Políticas sobre el vehículo eléctrico .....	56
7.1.	Marco legal y estratégico .....	56
7.2.	Incentivos y beneficios fiscales.....	56
7.3.	Políticas sobre la infraestructura de recarga.....	57
7.4.	Políticas de investigación, desarrollo e innovación .....	57
7.5.	Políticas medioambientales .....	57
7.6.	Políticas Europeas .....	58
8.	Aplicaciones del vehículo eléctrico en el futuro .....	59
8.1.	Impacto en las energías renovables .....	59
8.2.	SmartGrid .....	60
9.	Conclusiones.....	62
	Anexo I: Vehículo eléctrico .....	66
	Tipos de Vehículos eléctricos .....	66
	Componentes principales del vehículo eléctrico .....	66
	Anexo II: Análisis económico y fiscal de la adopción de vehículos eléctricos ..	69
	Costes de compra.....	69
	Costes de operación.....	72
	Costes de mantenimiento e instalación del cargador .....	75
	Cargador eléctrico.....	75
	Mantenimiento.....	76
	Impuestos .....	77
	Valor residual .....	79
	Análisis del costo total de propiedad (TCO):.....	80
	Anexo III: Evaluación del impacto ambiental.....	85
	Impacto ambiental en la producción del vehículo .....	85

Chasis .....	85
Motor y transmisión para GE y DE.....	85
Motor e inversor del vehículo eléctrico .....	85
Batería del vehículo eléctrico .....	86
Emisiones totales en fase de producción .....	86
Impacto ambiental en el uso y mantenimiento.....	87
Análisis del impacto medioambiental a lo largo del ciclo de vida.....	90
Anexo IV: Revisión de políticas públicas .....	92
Marco legal y estratégico .....	92
Incentivos y beneficios fiscales.....	94
Infraestructura de recarga.....	96
Investigación, desarrollo e innovación .....	97
Impacto medioambiental.....	99
Reducción de emisiones .....	99
Economía circular: .....	100
Protección del medio ambiente: .....	101
Legislación Europea .....	102
Regulación de emisiones de CO2:.....	102
Incentivos a la compra de vehículos eléctricos: .....	104
Despliegue de infraestructura de recarga: .....	105
Investigación y desarrollo:.....	106
Fiscalidad: .....	106
Aranceles .....	107
Anexo V: Futuro del vehículo eléctrico: Un aliado para la integración de energías renovables y las SmartGrids .....	108
Integración de las energías renovables .....	108
Tecnologías clave para un almacenamiento eficiente.....	109
Sistemas de gestión de baterías (BMS).....	109
Algoritmos de optimización .....	109
Comunicación bidireccional.....	110
SmartGrids.....	111
V2G (Vehicle to Grid) .....	111
V2H (Vehicle to Home).....	112
V2B (Vehicle to Building).....	113
Bibliografía .....	115



## Índice de figuras

Ilustración 1: Evolución de emisiones por sector desde 1990 Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente .....	17
Ilustración 2: Distribución de las emisiones por medio de transporte Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente .....	18
Ilustración 3: Interior de un vehículo eléctrico Fuente: (Green technology, 2023) .....	20
Ilustración 4: Tipos de vehículos eléctricos Fuente: The Driven.....	21
Ilustración 5: Principales motores para vehículos eléctricos Fuente: RO-DES	22
Ilustración 6: Elementos de un vehículo eléctrico Fuente: energy.gov .....	23
Ilustración 7: Conector Tipo 1 Fuente: (Batería, 2024) .....	24
Ilustración 8: Conector Tipo 2 Fuente: (Batería, 2024) .....	24
Ilustración 9: Conector CHAdeMO Fuente: (Batería, 2024).....	25
Ilustración 10: Conector CCS Fuente: (Batería, 2024) .....	25
Ilustración 11: Fases de carga de una batería Fuente: (Batería, 2024) .....	26
Ilustración 12: Capacidad de la batería Fuente: Elaboración propia .....	27
Ilustración 13: Autonomía del vehículo eléctrico Fuente: Elaboración propia...	27
Ilustración 14: Consumo kWh/100km de vehículos eléctricos Fuente: Elaboración propia .....	28
Ilustración 15: Evolución de las matriculaciones de vehículos eléctricos en Europa 2017-2023 Fuente: Electromaps.....	30
Ilustración 16: Matriculaciones en Noruega en 2023 Fuente: Electromaps.....	31
Ilustración 17: Matriculaciones en Suecia 2023 Fuente: Electromaps .....	31
Ilustración 18: Mandato ZEV Fuente: Electromaps .....	32
Ilustración 19: Matriculaciones en Reino Unido 2023 Fuente: Electromaps.....	32
Ilustración 20: Matriculaciones en Alemania 2023 Fuente: Electromaps.....	33
Ilustración 21: Matriculaciones en Francia 2023 Fuente: Electromaps .....	33
Ilustración 22: Matriculaciones en Portugal 2023 Fuente: Electromaps .....	34
Ilustración 23: Matriculaciones en Italia 2023 Fuente: Electromaps.....	35
Ilustración 24: Resumen de matriculaciones de turismos en Europa en 2023 Fuente: Electromaps .....	35
Ilustración 25: Mapa de cargadores de VE Sur de España Fuente: Electromaps .....	37
Ilustración 26: Mapa de cargadores de VE Norte de España Fuente: Electromaps .....	37
Ilustración 27: Curva de demanda nacional Fuente: (REE, Seguimiento de la demanda de energía eléctrica, 2024).....	40
Ilustración 28: Gestión de la demanda Fuente: (Flexilwatts, 2023) .....	41
Ilustración 29: Fabricación de un vehículo eléctrico Fuente: elDiario.....	43
Ilustración 30: Reciclaje del Vehículo Eléctrico Fuente: Manly Battery .....	45
Ilustración 31: Coste €/km Fuente: Elaboración propia .....	49
Ilustración 32: Las energías renovables y el vehículo eléctrico Fuente: GREEN PEACE .....	59
Ilustración 33: SmartGrid Fuente: IDEA Ingeniería.....	60
Ilustración 34: €/km en 400.000 km Fuente: Elaboración propia.....	62
Ilustración 35: kg CO2/km en 400.000 km Fuente: Elaboración propia.....	63

Ilustración 36: Programa Moves IIII.....	70
Ilustración 37: Representación €/km Fuente: Elaboración propia .....	74
Ilustración 38: Representación € en 200.000 y 400.000 km Fuente: Elaboración propia .....	74
Ilustración 39: €/km del TCO para 250.000 km y 400.000 km Fuente: Elaboración propia .....	81
Ilustración 40: Diferencia de 250000 km a 400000 km Fuente: Elaboración propia .....	82
Ilustración 41: Emisiones de CO2 durante la vida útil del vehículo Fuente: Elaboración propia .....	91
Ilustración 42: Integración de las energías renovables y el vehículo eléctrico Fuente: Electromaps .....	108
Ilustración 43: Smart Grids Fuente: Catalyze .....	111
Ilustración 44: Vehicle to Grid Fuente: AEDIVE.....	112
Ilustración 45: Vehicle to home Fuente: AEDIVE.....	113
Ilustración 46: Vehicle to Building Fuente: AEDIVE.....	114



## Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de las características de las baterías Fuente: Elaboración propia .....	22
Tabla 2: Diferencia de peso del vehículo eléctrico frente al convencional Fuente: Elaboración propia .....	28
Tabla 3: Modelos del estudio Fuente: Elaboración propia .....	46
Tabla 4: Precio de adquisición de los modelos de estudio Fuente: Elaboración propia .....	47
Tabla 5: Precio de la energía Fuente: Elaboración propia .....	48
Tabla 6: Coste €/km Fuente: Elaboración propia .....	48
Tabla 7: Cálculo del TCO Fuente: Elaboración propia .....	50
Tabla 8: kg de CO2 durante la fabricación Fuente: Elaboración propia .....	52
Tabla 9: kg CO2/km Fuente: Elaboración propia .....	54
Tabla 10: Emisiones de CO2 durante la vida útil del vehículo Fuente: Elaboración propia .....	54
Tabla 11: Políticas del marco estratégico Fuente: Elaboración propia .....	56
Tabla 12: Políticas de incentivos y ayudas Fuente: Elaboración propia .....	56
Tabla 13: Políticas sobre la infraestructura de recarga Fuente: Elaboración propia .....	57
Tabla 14: Políticas de investigación, desarrollo e innovación Fuente: Elaboración propia .....	57
Tabla 15: Políticas medioambientales Fuente: Elaboración propia .....	57
Tabla 16: Políticas Europeas Fuente: Elaboración propia .....	58
Tabla 17: Beneficios de las SmartGrids Fuente: Elaboración propia .....	61
Tabla 18: Comparativa precio de adquisición y TCO de algunos modelos I Fuente: Elaboración propia .....	63
Tabla 19: Comparativa precio de adquisición y TCO de algunos modelos II Fuente: Elaboración propia .....	63
Tabla 20: Comparativa entre kg CO2 de fabricación y totales Fuente: Elaboración propia .....	64
Tabla 21: Comparativa de costo de compra de una serie de vehículos Fuente: Elaboración propia .....	69
Tabla 22: Calculo de la financiación con la subvención Moves III Fuente: Elaboración propia .....	71
Tabla 23: Coste de operación Fuente: Elaboración propia .....	73
Tabla 24: Importe que subvencionable para puntos de recarga Fuente: Idae ..	75
Tabla 25: Coste de Mantenimiento Fuente: Elaboración propia .....	76
Tabla 26: Impuestos sobre los vehículos Fuente: Elaboración propia .....	77
Tabla 27: Coste de los impuestos sobre los vehículos Fuente: Elaboración propia .....	78
Tabla 28: Devaluación de los vehículos a lo largo de su vida útil Fuente: Elaboración propia .....	79
Tabla 29: Valor de mercado a lo largo de su vida útil Fuente: Elaboración propia .....	79
Tabla 30: Cálculo del TCO Fuente: Elaboración propia .....	80
Tabla 31: Diferencia de 250000 km a 400000 km Fuente: Elaboración propia	83

Tabla 32: Cantidad de emisiones de CO2 en la fase de producción Fuente: JLCA .....	86
Tabla 33: Relación de kg CO2 por punto estudiado Fuente: Elaboración propia .....	86
Tabla 34: Desglose de los kg de CO2 durante la fabricación Fuente: Elaboración propia .....	87
Tabla 35: Factores de emisión Fuente: Elaboración propia.....	88
Tabla 36: Emisiones de CO2 derivados del consumo Fuente: Elaboración propia .....	88
Tabla 37: Emisiones de CO2 derivadas del mantenimiento Fuente: Elaboración propia .....	89
Tabla 38: Emisiones de CO2 derivadas del mantenimiento por tipo de vehículo Fuente: Elaboración propia .....	89
Tabla 39: Desglose de emisiones de CO2 durante la vida útil del vehículo Fuente: Elaboración propia .....	90



# Introducción

## 1.1 Contextualización del tema

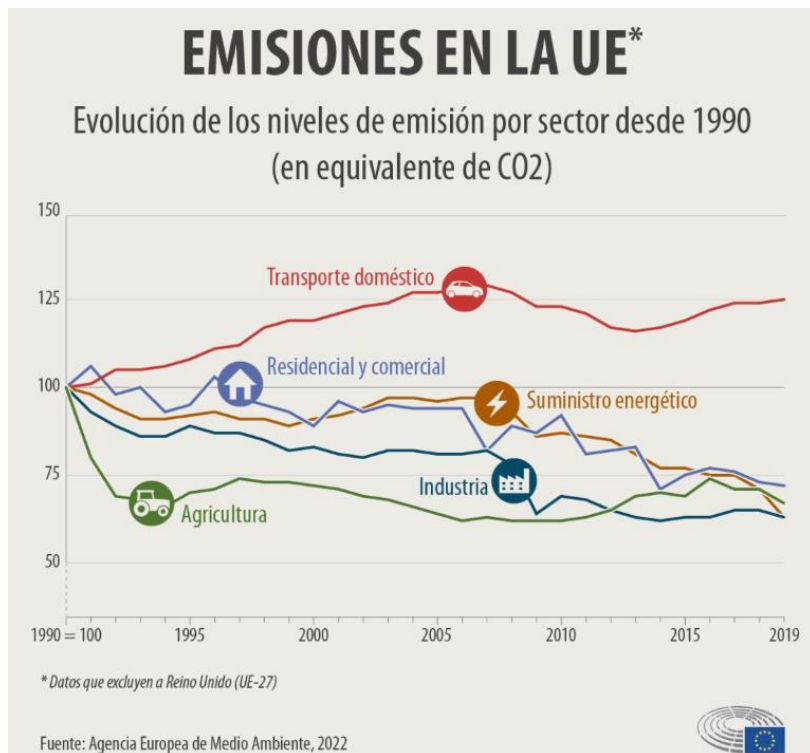
La movilidad y el transporte se ha convertido en algo indispensable para nuestro día a día por lo que la transición hacia un transporte sostenible se ha convertido una obligación, debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero con el fin de reducir la contaminación, mejorar la calidad del aire en las ciudades y reducir o eliminar en todo lo posible la dependencia de los combustibles fósiles.

Actualmente en España el sector del transporte es el principal consumidor de energía, representando el 31% del consumo total nacional. Siendo el transporte por carretera un 28,4 % del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2024)

Derivado de estos altos valores de contaminación, los vehículos eléctricos han surgido como una solución prometedora para abordar los desafíos ambientales y económicos a los que nos enfrentamos como sociedad actualmente, asociados principalmente con el transporte tradicional basado en combustibles fósiles, ya que el vehículo 100% eléctrico es la forma más eficiente de descarbonizar el sector transporte al no emplear combustibles fósiles no emiten gases de efecto invernadero.

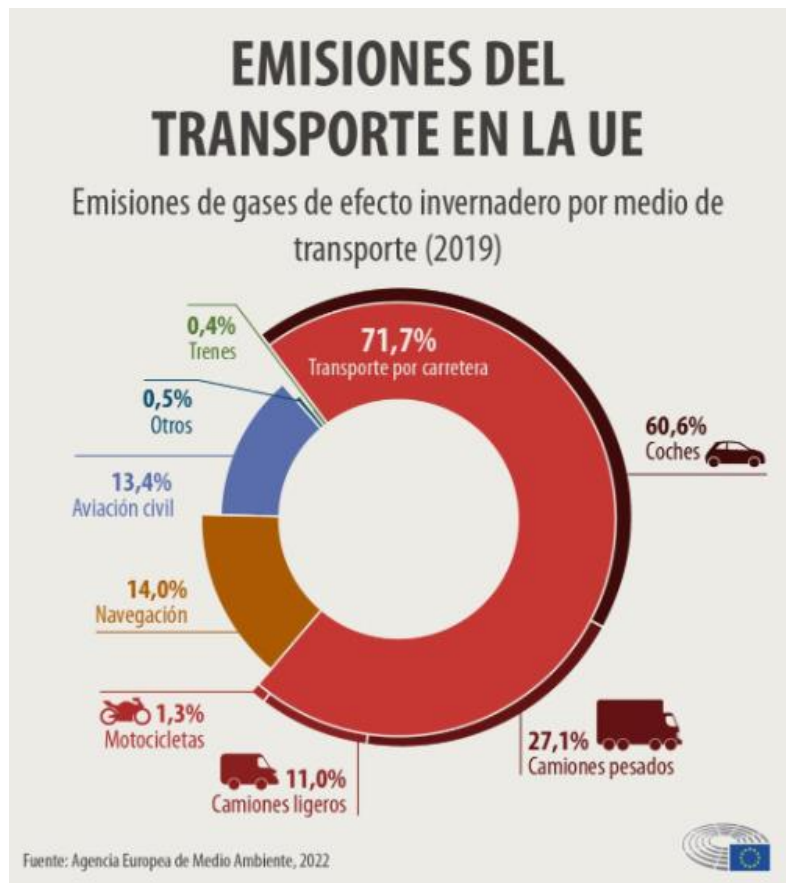
Actualmente en Europa el consumo total del transporte representa el 33%, valor muy similar al que se tiene en España. Europa tiene marcado como objetivo lograr un balance neto de emisiones nulo para el año 2050 y para conseguirlo se requieren esfuerzos significativos, especialmente en el sector del transporte, el más contaminante. Este sector, que constituye el principal consumidor de energía en la economía y depende en más de un 90% de los combustibles fósiles, debe ser objeto de atención prioritaria y el fomento del mercado de vehículos eléctricos tiene el potencial de reducir esta proporción y contribuir a una mayor sostenibilidad del sistema. (Energía y sociedad, 2024)

Como se puede observar en el siguiente gráfico la evolución de emisiones de  $CO_2$  por sector en la Unión Europea desde 1990 está copada por el transporte y es el único sector donde sus emisiones han aumentado en las últimas 3 décadas, en un 33,5%.



*Ilustración 1: Evolución de emisiones por sector desde 1990 Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente*

Dentro de estas emisiones por transporte, el 71,7% son producidas por el transporte por carretera:



*Ilustración 2: Distribución de las emisiones por medio de transporte Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente*

Considerando los datos mencionados anteriormente, existen dos direcciones que van a permitir reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los automóviles: mejorar la eficiencia de los vehículos de combustión tradicionales o modificar el tipo de combustible empleado, tema sobre el que se va a enfocar el presente trabajo. (Parlamento Europeo, 2024)

## 1.2 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es realizar un estudio económico y medioambiental del vehículo eléctrico con el fin de demostrar sus beneficios frente a los vehículos tradicionales de combustión.

Para ello se va a realizar un estudio comparativo del ciclo de vida de ambos vehículos tanto económico como medioambiental, teniendo en cuenta las políticas públicas más importantes de este sector.

## 1.3 Metodología

Para este Trabajo de Fin de Master se va a realizar un análisis del impacto ambiental, económico y político del vehículo eléctrico.

Para comenzar se realizará una presentación del vehículo eléctrico, donde se definirá, se comentará su evolución a lo largo de la historia y se despiezará para dar a conocer sus componentes más importantes, como son sus distintos tipos de baterías y sistemas de propulsión. Además, se hará especial hincapié en las infraestructuras de recarga y en su implementación a gran escala.

Se realizará un análisis de la situación actual del vehículo eléctrico tanto en España como en Europa y se demostrará la importancia de la integración del vehículo eléctrico en el sistema de transporte mundial para fomentar un cambio hacia la sostenibilidad de nuestro planeta.

Una vez presentado el vehículo eléctrico y puesto en situación se llevará a cabo el estudio económico y ambiental. Para ello se tendrán en cuenta los aspectos más importantes tanto del vehículo eléctrico como del vehículo de combustión como son sus implicaciones económicas y fiscales, como los costos de adquisición, operación y mantenimiento, medioambientales, como las emisiones de contaminantes durante la obtención de la materia prima, la fabricación, la operación y su reciclaje, todo esto teniendo en cuenta las políticas públicas más importantes que nos van a permitir potenciar el desarrollo y la implantación del vehículo eléctrico.

Además, se analizará como la integración a gran escala del vehículo eléctrico nos va a permitir potenciar las energías renovables dando un respaldo en cuanto a almacenamiento se refiere y como está consolidación de las energías renovables gracias al vehículo eléctrico va a permitir aumentar la sostenibilidad de este permitiendo realizar su operación con una energía más limpia y sostenible, lo que a la larga provocara una mejora en su amortización medioambiental.

# Memoria

## 2. Vehículo eléctrico

### 2.1 Definición y características

Los vehículos eléctricos son automóviles cuyo sistema de impulsión está compuesto por uno o varios motores eléctricos, los cuales son alimentados mediante baterías eléctricas que almacenan la energía. Esto permite que este tipo de vehículos sean una alternativa más eficiente y ecológica que los vehículos de combustión interna debido a que transforman la energía en movimiento sin generar emisiones durante este proceso.

En este apartado se va a entrar en detalle sobre los tipos de vehículos eléctricos, sus componentes principales y su funcionamiento. (Green technology, 2023)



*Ilustración 3: Interior de un vehículo eléctrico Fuente: (Green technology, 2023)*

#### 2.1.1 Tipos de vehículos eléctricos

El mercado automovilístico actual es dinámico y creciente, los vehículos que no dependen de combustibles fósiles están ganando terreno de forma significativa debido a su sostenibilidad y eficiencia. Dentro de los vehículos eléctricos hay una gran cantidad de tipos los cuales a continuación se van a enumerar clasificándolos según su grado de electrificación y en el Anexo se realizará una visión general de cada uno de ellos.

- **Coches Eléctricos de Batería (BEV):** Son vehículos 100% eléctricos y su batería se recarga mediante la red.
- **Vehículos Eléctricos de Autonomía Extendida (REEV):** Son vehículos eléctricos que a su vez tienen un motor de combustión interna cuya función es recargar las baterías.
- **Vehículos Híbridos no Enchufables (HEV):** Son vehículos que constan de la motores eléctricos y de combustión. No están conectados a la red y las baterías se recargan mediante el motor de combustión. Dentro de esta clasificación se encuentran 2 tipos:
  - **Híbridos Ligeros (MHEV)**
  - **Híbridos Puros (SHEV)**
- **Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV):** Son vehículos con las mismas características que los anteriores pero con la diferencia de que estos si se conectan a la red eléctrica para su recarga.

En la siguiente imagen se puede ver la estructura de algunos de los tipos de vehículos eléctricos comentados anteriormente:

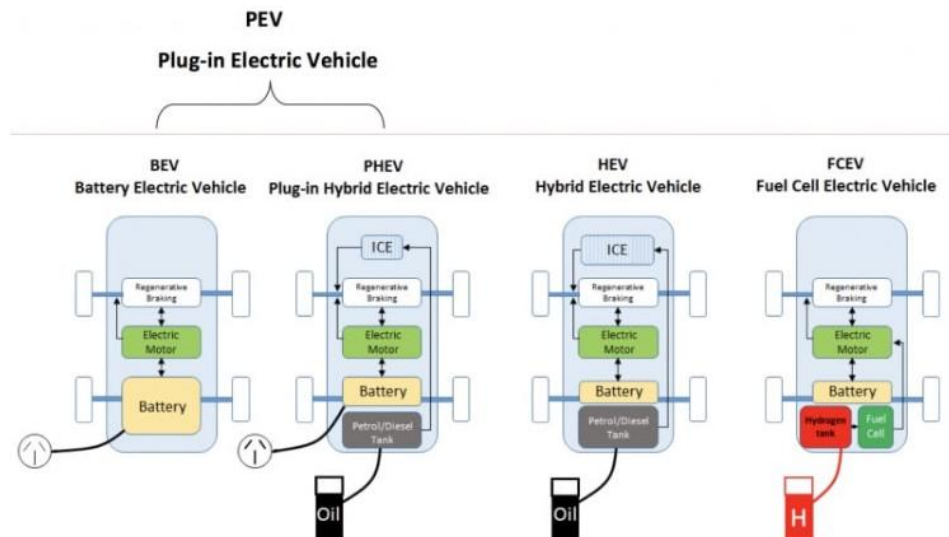


Ilustración 4: Tipos de vehículos eléctricos Fuente: The Driven

## 2.1.2 Componentes principales

Un vehículo eléctrico puede utilizar como método de propulsión distintos tipos de tecnologías, las cuales se van a enumerar y se explicaran posteriormente en los anexos, pero el resto de las componentes son comunes para todos los vehículos:

Los componentes principales son los siguientes:

- **Motor:** El motor es el encargado de impulsar al vehículo, transformando la energía eléctrica en energía cinética. Actualmente los motores más usados son los siguientes:
  - **Motor Asíncrono o de Inducción**
  - **Motor Síncrono de Reluctancia Conmutada o Variable**
  - **Motor Síncrono de Imanes Permanentes**

- **Motor sin Escobillas de Imanes Permanentes**



Ilustración 5: Principales motores para vehículos eléctricos Fuente: RO-DES

- **Baterías:** Las baterías es el componente principal del vehículo eléctrico, ya que es el depósito de almacenamiento de la energía que lo propulsa. Es una tecnología en continuo desarrollo en la cual se usan una gran cantidad de materiales. Actualmente las más comunes son las baterías de Litio-Ion.
  - **Baterías de Plomo-ácido (PB-ácido)**
  - **Baterías de níquel-cadmio (NiCd)**
  - **Baterías de níquel-metal hidruro (NiMH)**
  - **Baterías de iones de litio (Li-ion)**
  - **Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO4)**
  - **Baterías de polímero de iones de litio (Li-Po)**
  - **Baterías de sodio-ion (Na-ion)**

Tabla 1: Resumen de las características de las baterías Fuente: Elaboración propia

Tipo de batería	Ventaja	Desventaja	Ciclo de vida	Densidad ( $\frac{Wh}{kg}$ )
<b>PB-ácido</b>	Bajo coste Buena respuesta en frío	Pesadas El plomo es tóxico Capacidad de recarga lenta	500-800	30-40
<b>NiCd</b>	Mayor fiabilidad (no fallan de forma repentina como las baterías de plomo-ácido) Existen técnicas de reciclado total de la batería	Alto coste de adquisición Efecto memoria Contaminante Envejecimiento prematuro con el calor	1500-2000	40-60
<b>NiMh</b>	Reducción del efecto memoria respecto las baterías de níquel-cadmio Eliminan el cadmio	Menor fiabilidad que las baterías de níquel-cadmio No soporta fuertes descargas Menos resistencia a altas temperaturas	300-500	30-80

		Menos resistencia a altas corrientes de carga		
<b>LiC-ion</b>	Alta densidad de energía, larga vida útil, bajo peso, no tiene efecto memoria	Riesgo de incendio si se daña, costo relativamente alto, rendimiento disminuido a bajas temperaturas	1000-2000	150-250
<b>LiFeP04</b>	Seguridad Estabilidad (elevada cantidad de hierro) Potencia	Menor densidad energética Mayor coste	2000	90-100
<b>LiPo</b>	Ligeras Eficientes	Alto precio Ciclo de vida corto	1000	300
<b>Na-ion</b>	Alta densidad de energía Larga vida útil	Vulnerabilidad al calor Posibilidad de inflamación	500-1000	150-250

Los componentes secundarios son los siguientes:

- **Toma de carga**
- **Controlador de carga**
- **Freno regenerativo**
- **Sistema de refrigeración**
- **Inversor**
- **Convertidor**

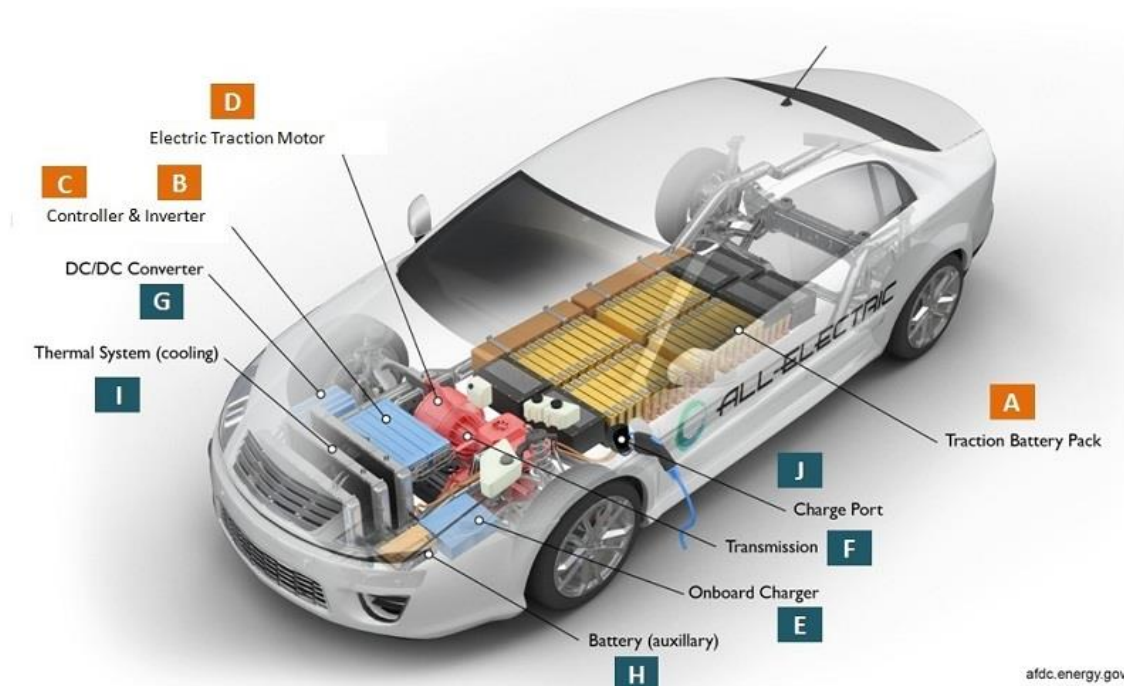


Ilustración 6: Elementos de un vehículo eléctrico Fuente: energy.gov

### 2.1.3 Infraestructuras de recarga

Uno de los puntos clave para la integración definitiva de los vehículos eléctricos, que actualmente es un inconveniente debido al amplio camino que le queda por recorrer, es la infraestructura de recarga.

#### 2.1.3.1 Tipos de conectores

Actualmente, existen una gran cantidad diferente de tipos de conectores utilizados para la recarga de vehículos eléctricos.

- **Conector Schuko:** Es el estándar europeo para la conexión de aparatos eléctricos en baja tensión. Recomendado para cargas parciales a no más de 12 o 13 A.
- **Conector Tipo 1 (SAE J1772):** Adaptado de los mercados asiáticos y americanos, es utilizado por marcas como Opel, Nissan y Renault.



Ilustración 7: Conector Tipo 1 Fuente: (Bately, 2024)

- **Conector Tipo 2 (IEC 62196-2):** Es el conector estándar europeo que permite cargas monofásicas y trifásicas, con potencias desde 3,7 kW hasta 44 kW.



Ilustración 8: Conector Tipo 2 Fuente: (Bately, 2024)

- **Conector CHAdeMO:** Es un conector diseñado para cargas rápidas en corriente continua, destacado en vehículos japoneses como Nissan y Mitsubishi.



Ilustración 9: Conector CHAdeMO Fuente: (Batería, 2024)

- **CCS:** Conector combinado que permite cargar en modos 2, 3, 4 a través de una sola toma, con potencias de hasta 100 kW en corriente continua. (TheWallbox, s.f.)



Ilustración 10: Conector CCS Fuente: (Batería, 2024)

### 2.1.3.2 Velocidad de la recarga

La velocidad de recarga de una batería no es uniforme a lo largo de todo su ciclo de carga, se distinguen varias fases: la fase de carga más rápida ocurre cuando la intensidad es constante, finalizando cuando se alcanza un voltaje límite. Después de este punto, comienza la fase de tensión constante, donde la intensidad disminuye gradualmente, lo que resulta en una reducción de la velocidad de recarga.

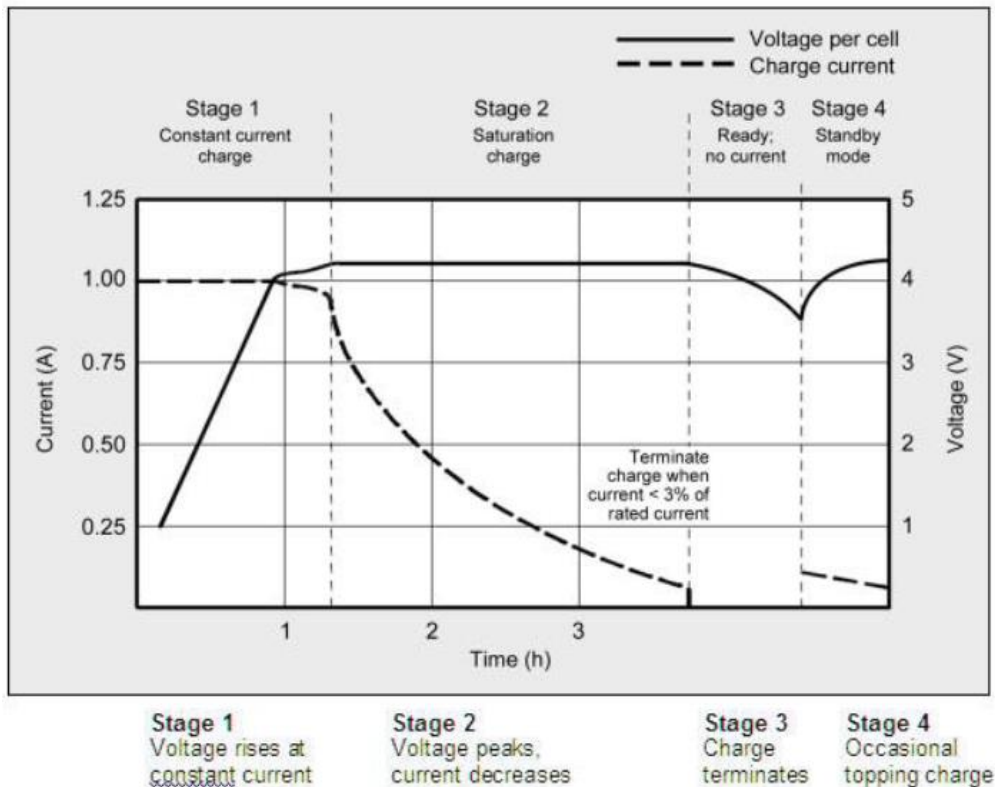


Ilustración 11: Fases de carga de una batería Fuente: (Batería, 2024)

Existen diferentes tipos de carga, que van desde:

- **Carga super-lenta:** La corriente de carga es muy baja, no superando los 10 A, lo que resulta en tiempos de recarga entre 10 y 12 horas.
- **Carga lenta:** Se realiza a 16 A, reduciendo el tiempo de carga a 6 u 8 horas. Es una opción sencilla y recomendada para cargar durante la noche. A
- **Carga semi-rápida:** Requiere una instalación previa y permite cargar la batería completa en aproximadamente una hora y cuarto, con una potencia de 11 o 22 kW.
- **Carga rápida:** Se realiza a una potencia muy alta, entre 44 y 50 kW. Si la capacidad de la batería es de 22-24 kWh, esta recarga puede completarse en media hora, alcanzando el 80%. El restante 20% podría durar 20 minutos.
- **Carga ultra-rápida:** Actualmente experimental, se están realizando pruebas en vehículos equipados con supercondensadores. Esta carga a una potencia muy alta podría reducir el tiempo de carga a 5-10 minutos. (Batería, 2024)

#### 2.1.4 Características técnicas

Las principales características que se van a tener en cuenta para analizar los vehículos eléctricos son las siguientes: (Torre, 2024)

- **Capacidad de la batería:** La cantidad de energía que puede acumular un vehículo eléctrico viene determinada por su capacidad. La energía de los vehículos se mide en kWh y actualmente la capacidad de las baterías oscila entre los 50 y 90 kWh.

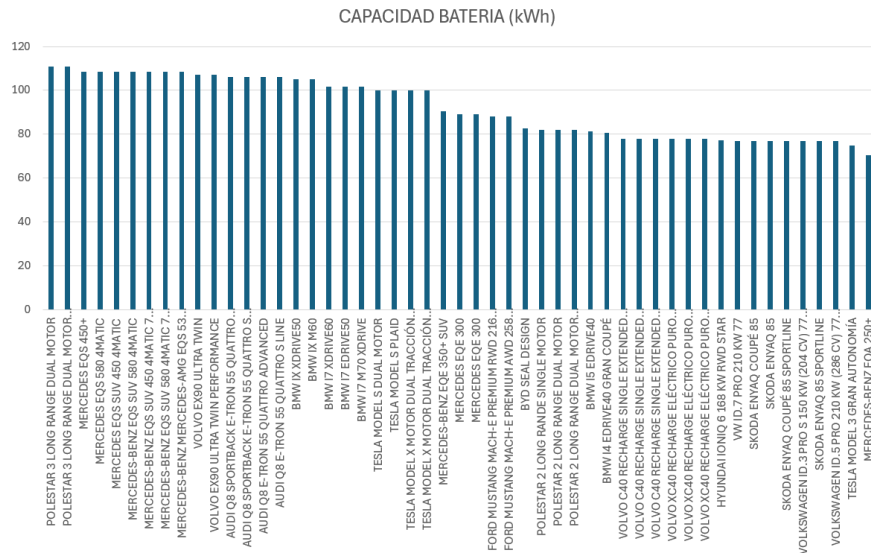


Ilustración 12: Capacidad de la batería Fuente: Elaboración propia

- Autonomía:** La autonomía del vehículo es la distancia que puede recorrer este con la energía que hay almacenada en su batería. A la hora de elegir un coche eléctrico es muy importante elegir un modelo que se adapte a tus necesidades diarias de conducción. Actualmente la autonomía de los vehículos varía entre 200 y 700 km:

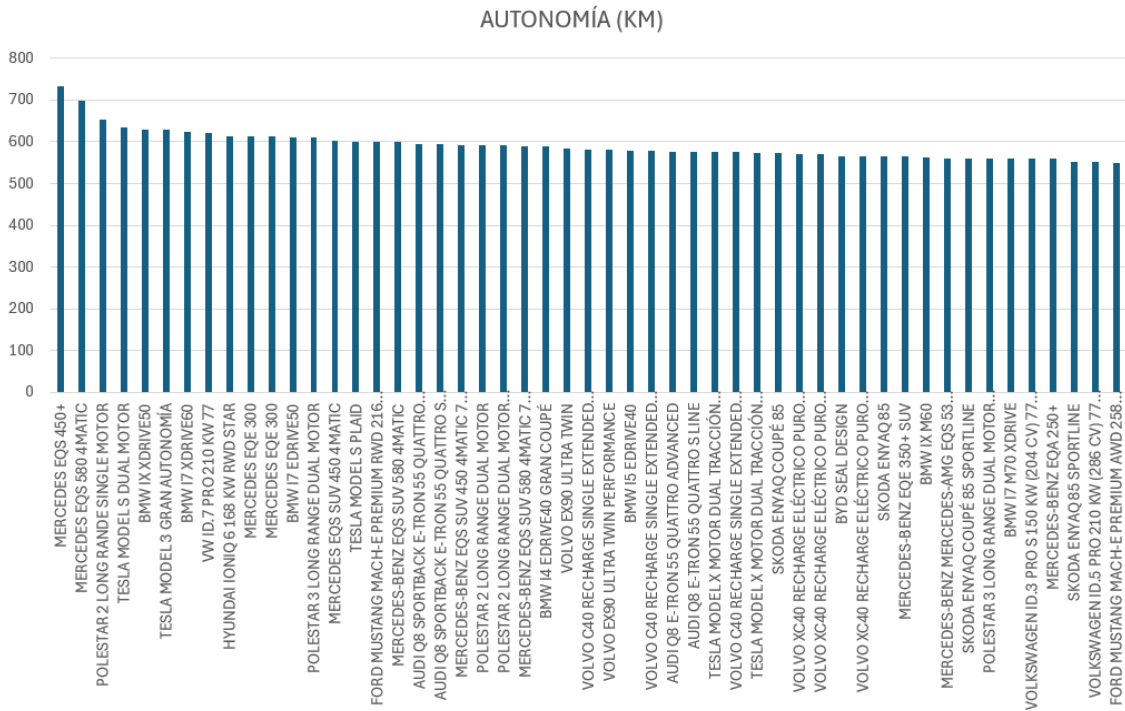


Ilustración 13: Autonomía del vehículo eléctrico Fuente: Elaboración propia

- Consumo:** El consumo del coche eléctrico te permitirá determinar cuánta energía consume por kilómetro recorrido:

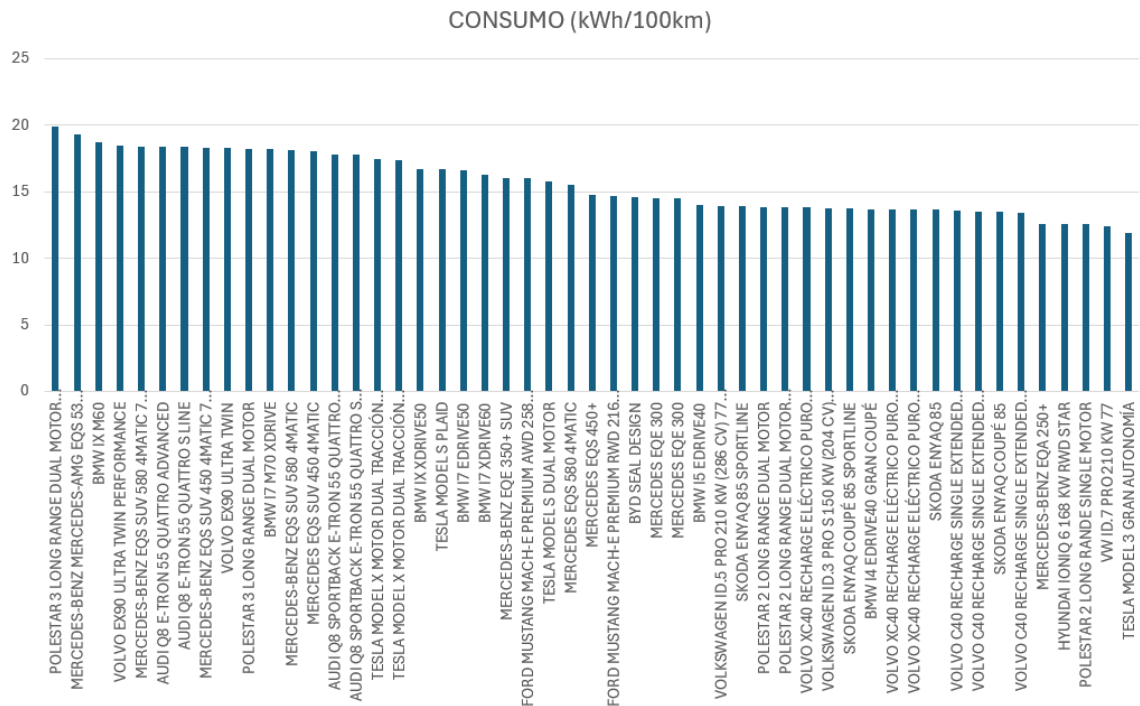


Ilustración 14: Consumo kWh/100km de vehículos eléctricos Fuente: Elaboración propia

- **Peso:** El peso de los vehículos eléctricos es una característica a tener en cuenta ya que pueden pesar alrededor de 1.000 kg más que los vehículos de combustión interna. Esto es debido a que el peso de las baterías es superior al de los tanques de combustibles. En la siguiente tabla se muestra la diferencia de peso entre varios modelos de vehículos en su versión eléctrica y convencional:

Tabla 2: Diferencia de peso del vehículo eléctrico frente al convencional Fuente: Elaboración propia

MODELO	PESO (kg)	DIFERENCIA PESO (KG)	DIFERENCIA PESO (%)
FORD F-150	2.009		
FORD F-150 LIGHTNING	2.990	+981	+48,83 %
BMW SERIE 4 GC	1.720		
BMW I4	2.065	+345	+20,06%
MERCEDES CLASE E	1.730		
MERCEDES EQE	2.385	+655	+37,86%
VOLKSWAGEN UP!	930		
VOLKSWAGEN E-UP!	1.235	+305	+32,80%
CITROËN BERLINGO	1.430		
CITROËN Ë-BERLINGO	1.814	+384	+26,85%
VOLVO XC40	1.629		
VOLVO XC 40 RECHARGE EV	2.023	+394	+24,19%
HUMMER H1	3.680		
GMC HUMMER EV	4.103	+423	+11,49%

PEUGEOT 208	1.233		
PEUGEOT E-208	1.530	+297	+24,09%
FIAT 500	940		
FIAT 500E	1.330	+390	+41,49%
AUDI Q8	2.175		
AUDI Q8 E-TRON	2.585	+410	+18,85%

## 2.2 Ventajas e inconvenientes del vehículo eléctrico

A lo largo de este apartado se van a analizar las ventajas y desventajas del vehículo eléctrico basándose en las principales características.

### 2.2.1 Ventajas

Los vehículos eléctricos tienen una serie de puntos fuertes en los cuales los consumidores actuales se fijan a la hora de elegir su próximo vehículo

- **Ventajas Ambientales:** El pilar principal del vehículo eléctrico es su nula emisión de partículas contaminantes a la atmósfera durante su operación, que podría ser nula en caso de utilizar energías renovables para el abastecimiento de sus baterías.
- **Ventajas Energéticas:** La principal ventaja energética viene dada por el rendimiento de los motores eléctricos, que asciende al 90%, cuando el rendimiento de los motores de combustión convencionales no supera el 30%.
- **Ventajas Económicas:** El bajo costo de la electricidad en las tarifas del vehículo eléctrico permite una reducción drástica de costos de operación de los vehículos eléctricos en comparación con el precio alista de los combustibles fósiles.
- **Ventajas en el Confort:** La conducción más silenciosa, segura y con la última tecnología permite obtener una experiencia incomparable con los vehículos de combustión.

### 2.2.2 Inconvenientes

A pesar de las numerosas ventajas, la adopción masiva de vehículos eléctricos se puede ver obstaculizada por una serie de pilares:

- **Precio:** Aunque para el año 2025 se espera que el precio de los vehículos eléctricos se equipare al de los vehículos convencionales, en el mercado automovilístico actual el precio de los eléctricos es superior al de los vehículos de combustión para un nivel de prestaciones similar, provocando un problema para su adopción a gran escala.
- **Autonomía:** Aunque este ámbito que esta continuamente en desarrollo y se anticipa que la autonomía de los vehículos eléctricos aumentará, todavía es limitada entre alrededor de 200 y 600 km.
- **Infraestructura:** La escasez de puntos de recargar distribuidos por el territorio debilita la confianza del público en la para la adopción del vehículo eléctrico para su uso diario.

## 2.3 Situación actual de los vehículos

La situación actual de los vehículos eléctricos refleja un aumento progresivo en la adopción de esta tecnología, principalmente motivado por el cambio de mentalidad de la gente en cuanto a la preocupación por el medio ambiente y los avances tecnológicos se refiere. En este análisis, se examinan los datos pertinentes sobre la situación en Europa y España.

### 2.3.1 Europa

La evolución de las matriculaciones de vehículos eléctricos en los últimos doce meses, en comparación con el año 2022, nos ofrece una visión clara de la situación actual del coche eléctrico en ocho mercados europeos más importantes.

El debate sobre la autonomía y la viabilidad de los viajes largos en vehículos eléctricos ha perdido relevancia gracias a la adopción y desarrollo de la infraestructura de carga rápida en Europa.

En las siguientes imágenes se puede ver la evolución de las matriculaciones de vehículos eléctricos en los últimos 6 años en Europa.

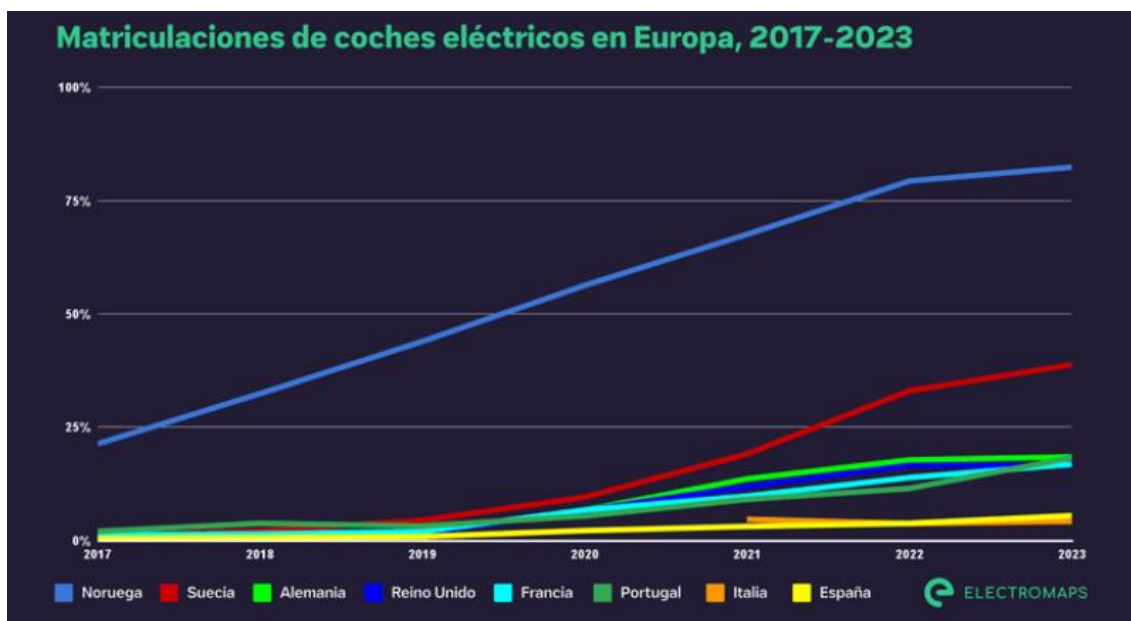


Ilustración 15: Evolución de las matriculaciones de vehículos eléctricos en Europa 2017-2023 Fuente: Electromaps

- **Noruega:** En el año 22,2 cerró con una cuota que parecía difícil superar la cuota del 79,3% de vehículos eléctricos, sin embargo, en 2023, las matriculaciones de turismos eléctricos puros representaron el 82,4%.

El año 2024 comenzó con cambios fiscales que redujeron la venta de vehículos eléctricos en un 4% y la de vehículos híbridos en un 10%.

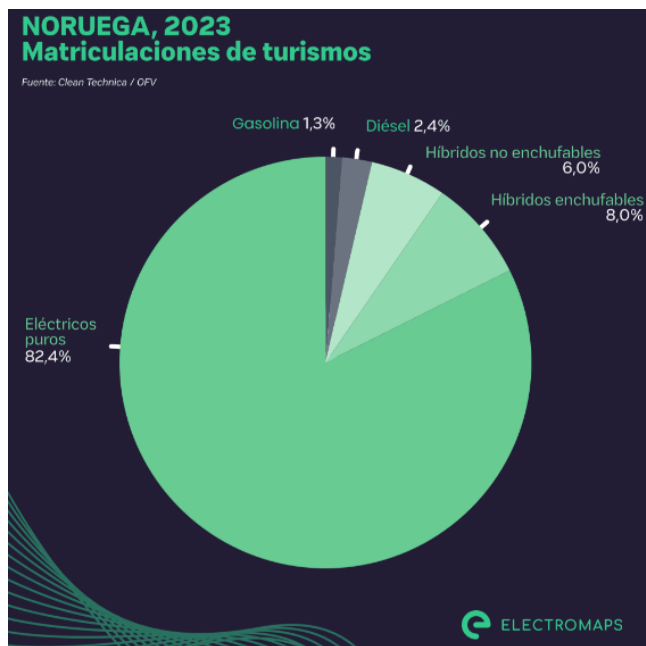


Ilustración 16: Matriculaciones en Noruega en 2023 Fuente: Electromaps

- Suecia:** Durante el año 2023, se registró un aumento del 18% en las matriculaciones de vehículos eléctricos, representando el 38.8% del mercado. Los híbridos enchufables alcanzaron el 59.9% y los vehículos de combustión, especialmente los diésel, continuaron su declive con una disminución del 28.2%.

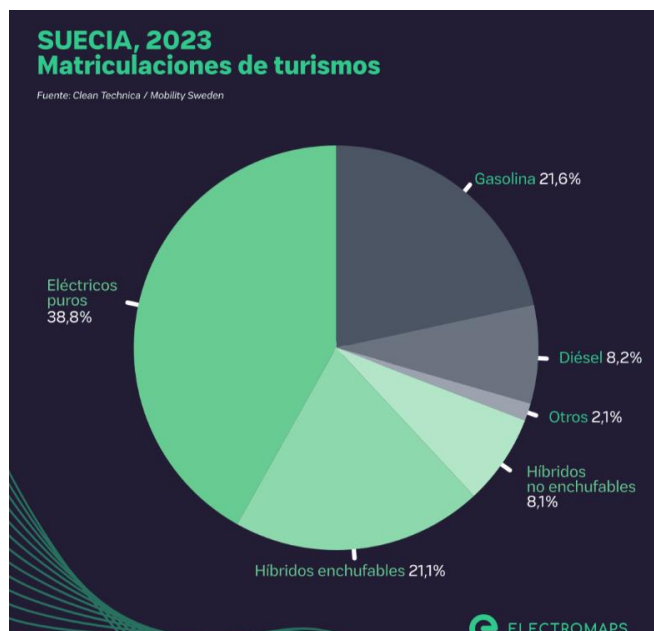


Ilustración 17: Matriculaciones en Suecia 2023 Fuente: Electromaps

- Reino Unido:** En 2024, el gobierno implantó el Mandato ZEV con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, exigiendo a los

fabricantes de automóviles que alcancen un 22% de vehículos eléctricos puros en las nuevas matriculaciones. Este porcentaje aumentará gradualmente hasta alcanzar el 80% en 2030 y el 100% en 2035. El inconveniente de este mandato es que retrasa cinco años los objetivos iniciales de prohibir la venta de vehículos de combustión en el Reino Unido para 2030.

**Mandato ZEV en Reino Unido**  
**Objetivo de Vehículos Cero Emisiones por Año - % de matriculaciones**

2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
22%	28%	33%	38%	52%	66%	80%	84%	88%	92%	96%	100%

ELECTROMAPS

Ilustración 18: Mandato ZEV Fuente: Electromaps

En 2023, las matriculaciones de turismos eléctricos puros en el Reino Unido aumentaron un 17,8%, llegando a 314.684 unidades. Mientras tanto, los híbridos enchufables aumentaron al 7,4%. Además, los vehículos de gasolina y diésel perdieron participación en el mercado, y en el último trimestre del año, las matriculaciones de eléctricos puros disminuyeron un 16,9%.

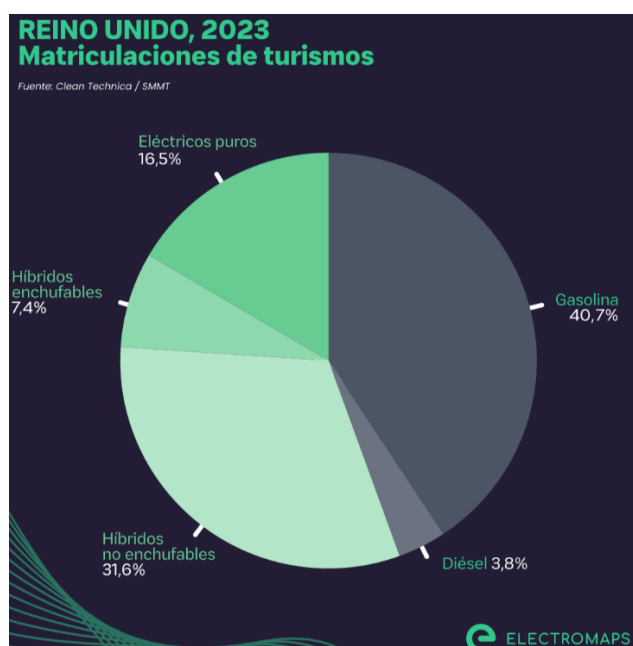


Ilustración 19: Matriculaciones en Reino Unido 2023 Fuente: Electromaps

- **Alemania:** En diciembre de 2022, Alemania cerró el año con un aumento en las matriculaciones de vehículos eléctricos e híbridos enchufables debido a recortes de incentivos previstos para enero de 2023. Sin embargo, la eliminación sorpresiva de los incentivos para vehículos eléctricos puros en

diciembre resultó en una caída del 47,6% en las ventas interanuales. A pesar de esto, Alemania terminó el año con un aumento del 11,4% en las matriculaciones de coches eléctricos puros y una disminución del 51,5% en los híbridos enchufables.

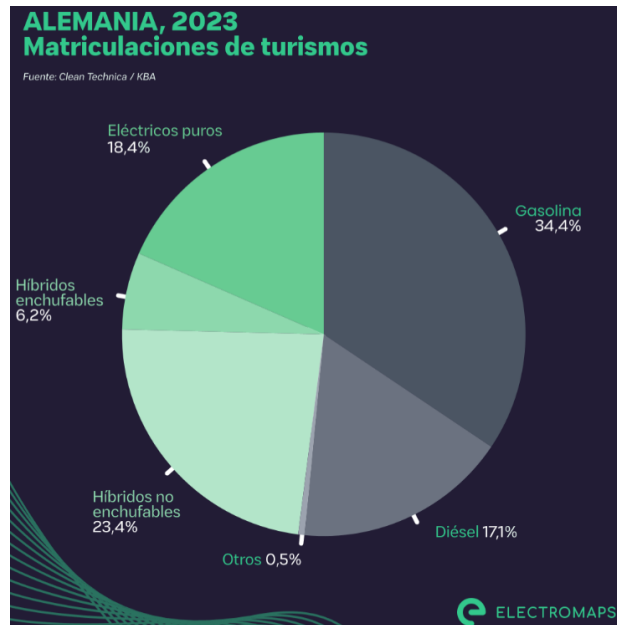


Ilustración 20: Matriculaciones en Alemania 2023 Fuente: Electromaps

- **Francia:** En 2023 las matriculaciones de turismos aumentaron un 15,3%, destacando un crecimiento del 39,9% en los vehículos eléctricos, que representan el 16,8% del mercado. Los híbridos enchufables también experimentaron un aumento del 28,8%, alcanzando el 9,2% del mercado. Los vehículos de combustión sufrieron una caída del 28,2%.

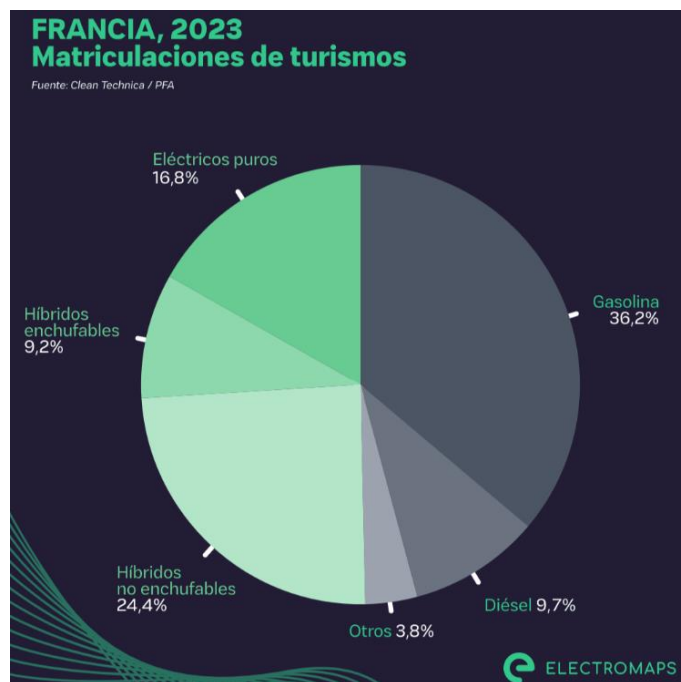


Ilustración 21: Matriculaciones en Francia 2023 Fuente: Electromaps

- **Portugal:** Es uno de los países en los que más ha penetrado el vehículo eléctrico llegando a duplicar sus ventas. Las nuevas matriculaciones de vehículos de cero emisiones en 2023 obtienen un dato de crecimiento del 101,9%.

Los vehículos eléctricos puros obtienen un 18,2% del mercado, aumentando en un 6,7% con respecto al 2022. Los híbridos enchufables cerraron el año con un 13,6% lo que supone una subida con respecto al año anterior del 3,4%. A estos datos se une la pérdida de 5,5% de los vehículos de gasolina y de un 5,8% de los diésel quedándose con un 36,1% y 12% de la cuota de mercado respectivamente.

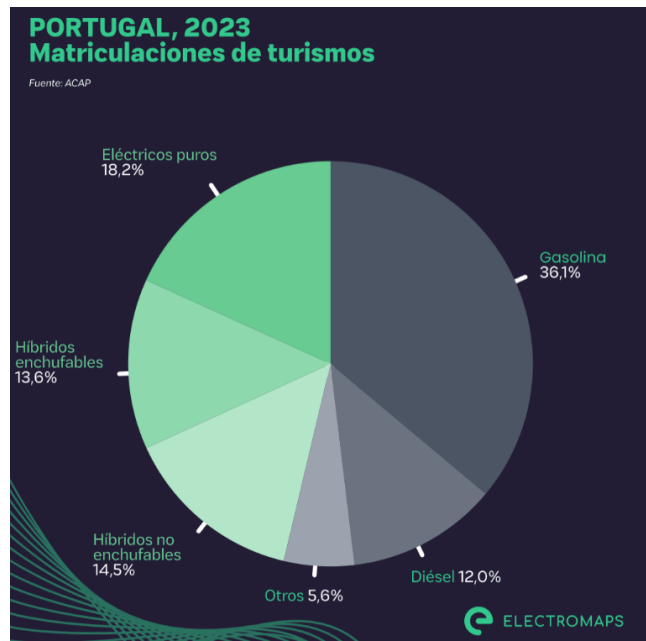


Ilustración 22: Matriculaciones en Portugal 2023 Fuente: Electromaps

- **Italia:** La situación de la movilidad en Italia en 2023 no fue prometedor para los vehículos eléctricos. Los coches enchufables cayeron al 8,6% del mercado, mientras que los eléctricos puros aumentaron ligeramente al 4,2%. Los híbridos enchufables disminuyeron en ventas obteniendo el 4,4%. En cuanto a los vehículos tradicionales, los de gasolina y diésel dominaron con el 46,1%, aunque descendieron ligeramente. Los híbridos no enchufables crecieron hasta el 36,2%.

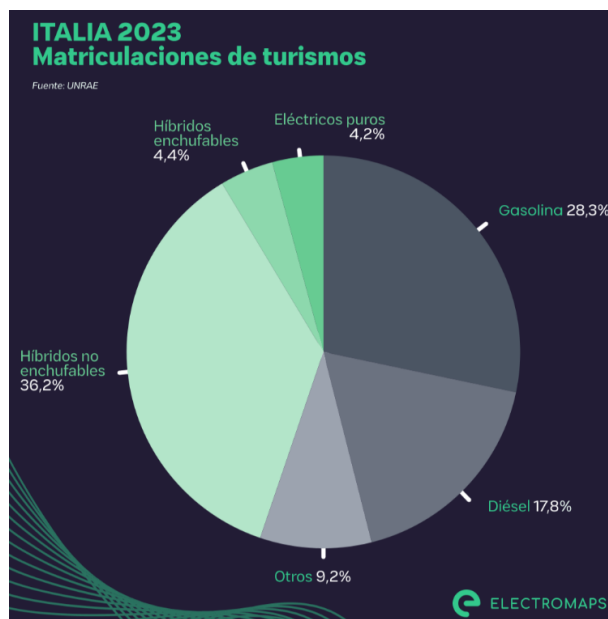


Ilustración 23: Matriculaciones en Italia 2023 Fuente: Electromaps

### 2.3.2 España

En 2023, las matriculaciones de coches eléctricos aumentaron un 69,4%, alcanzando las 51.716 unidades, representando el 5,4% del mercado, en comparación con las 30.520 unidades de 2022. Los híbridos enchufables también experimentaron un aumento del 30,1%, llegando al 6,5% del mercado. En total, los vehículos enchufables cerraron el año con el 12% de las matriculaciones, un aumento del 45,4% respecto a 2022. Los turismos de gasolina dominan con el 40,8% del mercado, similar al año anterior, mientras que los diésel continúan su declive. El último trimestre experimentó un aumento significativo en las ventas de coches eléctricos, con noviembre alcanzando el 7,7% de cuota y diciembre el 15,2% de vehículos enchufables. (Rodríguez, 2024)

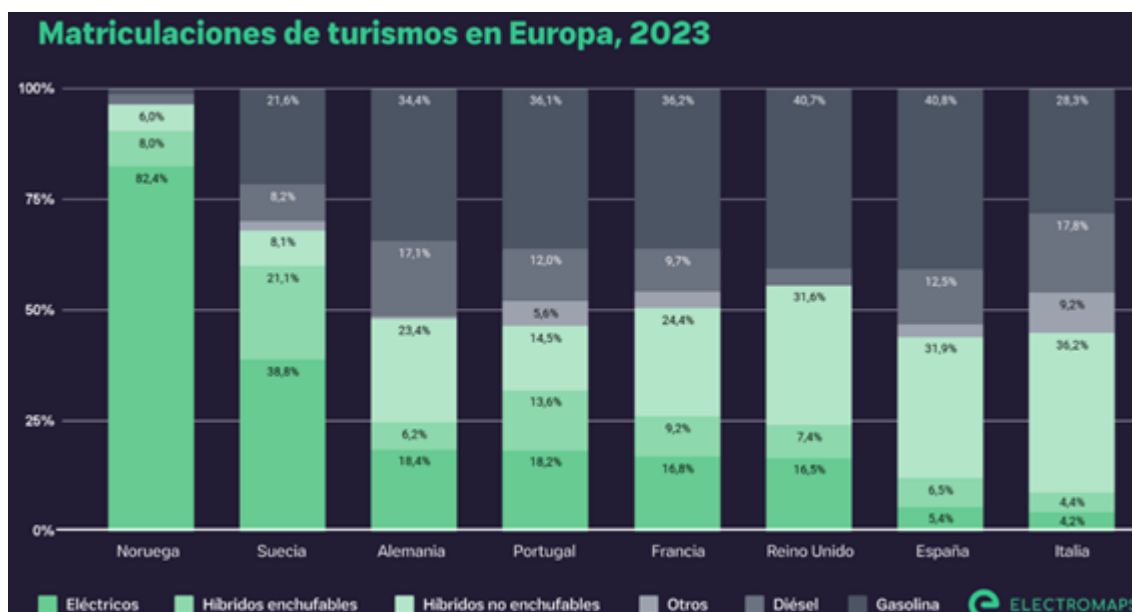


Ilustración 24: Resumen de matriculaciones de turismos en Europa en 2023 Fuente: Electromaps



### 3. Infraestructuras y operación del sistema eléctrico

Como se ha comentado anteriormente para la integración del vehículo eléctrico se debe desarrollar lo que actualmente es su mayor obstáculo, la infraestructura de recarga.

Durante los últimos años se han visto avances significativos en este ámbito, pero todavía queda un largo camino por recorrer para conseguir la implantación de una red de recarga óptima y eficiente.

Este apartado se va a centrar en el estado actual de la infraestructura de cargadores eléctricos en España.

#### 3.1 Infraestructura de cargadores en España

En España se ha notado un crecimiento significativo en cuanto a la mejora de la infraestructura de recarga de vehículos durante los últimos años. Actualmente se encuentran operativos 25.106 puntos según datos obtenidos de Aedive. Lo que supone un crecimiento de alrededor del 16% desde inicios del 2023, cuando había registrados 21.573 puntos de recarga, como se puede ver en el siguiente mapa:

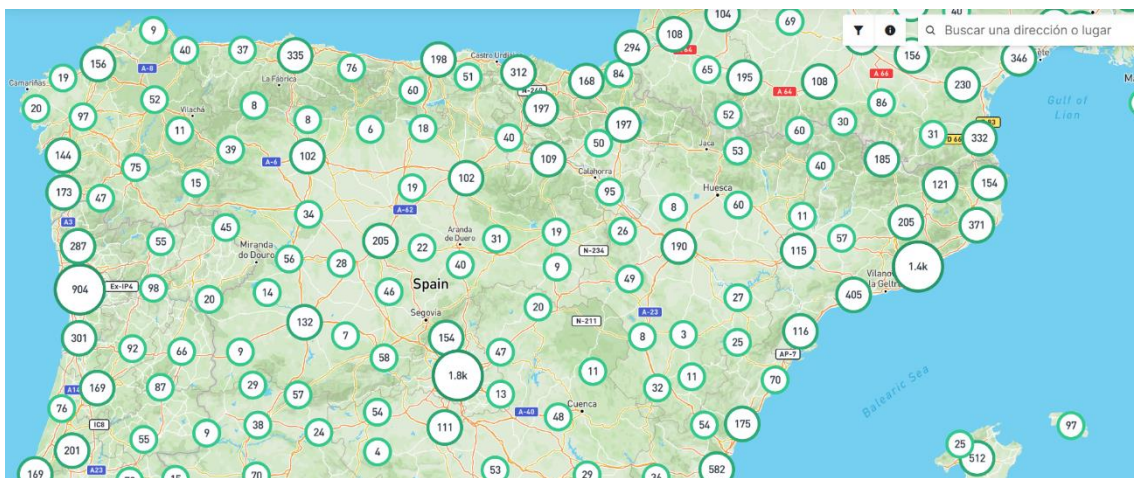


Ilustración 26: Mapa de cargadores de VE Norte de España Fuente: Electromaps

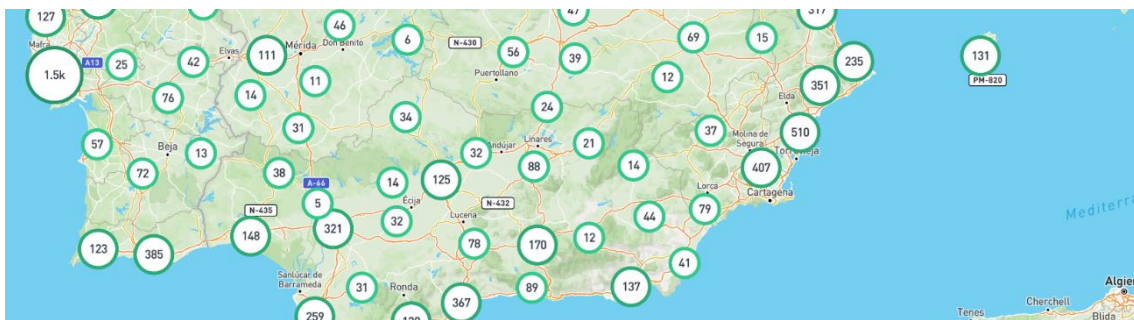


Ilustración 25: Mapa de cargadores de VE Sur de España Fuente: Electromaps

Sin embargo, el progreso que se está viviendo actualmente no es suficiente debido a que estos puntos de recarga registrados no están distribuidos geográficamente, la mayor parte de estos se encuentran concentrados en zonas urbanas y en vías interurbanas, encontrando así una escasez en las zonas rurales. El principal factor que provoca dicha desigual es la mayor densidad de población en zonas urbanas, lo que genera una demanda muy superior a la que se encuentra en las zonas rurales. (ElectroMaps, 2024)

Las consecuencias de esta distribución desigual crean una barrera de acceso debido a que los usuarios que viven en estas zonas tengan dificultades para encontrar puntos de recarga públicos lo que desincentiva la adquisición de un vehículo eléctrico.

Un aspecto que se puede presentar como una oportunidad para acelerar el despliegue de la infraestructura es la reducción de tiempos durante la gestión de los trámites administrativos. Actualmente, existen 6.800 enchufes pendientes de permisos. Agilizar estos procesos burocráticos permitiría ampliar rápidamente la red de recarga y satisfacer la creciente demanda.

### 3.2 Demanda estacional y cuellos de botella

Dentro del ámbito de este apartado, se han estudiado las necesidades de los consumidores de puntos de recarga y se ha llegado a la conclusión que los problemas de escasez de estos cargadores se incrementan exponencialmente en ciertos periodos del año generando cuellos de botella:

- **Aumento de la movilidad durante vacaciones:** En periodos festivos y de gran movilidad como Semana Santa, Navidad o verano, se observa un incremento considerable del uso de vehículos para viajes de larga duración, lo que provoca un aumento de la demanda que la red actual no es capaz de asumir.
- **Concentración de usuarios en zonas turísticas:** Durante estos periodos vacacionales las zonas con una densidad población de base alta y con gran afluencia de turistas provocan un pico de demanda de recarga de los vehículos.
- **Limitaciones de la infraestructura existente:** No solo el número de puntos de recarga es un problema si no que a veces la capacidad estos no siempre es capaz de cubrir las necesidades de los consumidores en estas épocas, lo que genera cuellos de botella.

Conocidos los principales factores que provocan un incremento de la demanda estacional, a continuación, se muestran las consecuencias:

- **Tiempos de espera prolongados:** Los usuarios que en cierto momento tienen la necesidad de recargar sus vehículos se encuentran a largas colas y tiempos de espera muy largos, lo que genera frustración para los consumidores.

- **Insatisfacción del usuario:** Las noticias negativas sobre la experiencia de la situación de los puntos de recarga durante la época vacacional puede disuadir a los usuarios de adquirir este tipo de vehículos y pueden llevarlos a buscar otras alternativas.

- **Necesidad de ampliar la infraestructura:** La única solución para resolver este problema es una inversión significativa para aumentar tanto la cantidad como la capacidad de la red de recarga y para poder atender la demanda estacional, especialmente en zonas con alta densidad de población.

Por lo que, para afrontar esta demanda estacional de recarga de vehículos eléctricos, es necesario implementar medidas efectivas.

- **Implementación de mapas dinámicos:** Esta herramienta permitiría a los usuarios planificar sus viajes y ver en tiempo real el estado de los cargadores para poder anticiparse a sus necesidades, incorporando incluso sistemas de reserva de cargadores para asegurar su disponibilidad.

- **Promoción de la recarga inteligente:** Incentivar a los usuarios la recarga en horarios de menor consumo, como durante la noche, mediante estrategias como la tarifa dinámica, puede contribuir a aliviar la congestión en la red.

### 3.3 Operación del sistema eléctrico

Red Eléctrica de España (REE) es la empresa que se encarga de la operación y gestión del sistema eléctrico, siendo la responsable del transporte de la electricidad a través de la alta tensión. La operación de la red Española viene reflejada en la curva de demanda nacional, donde se puede ver el consumo total de energía durante un periodo. Normalmente esta curva de demanda tiene una forma característica, se producen picos de consumo durante las horas punta del día y valles durante las horas con menor demanda como durante la noche, esto es provocado por los siguientes factores.

- **Estacionalidad:** El consumo eléctrico más alto durante los meses de invierno debido al uso de la calefacción y durante en verano con el uso de los aires acondiciona.

- **Días laborables vs. festivos:** Durante los días laborables el consumo es superior que los fines de semana o días festivos.

- **Condiciones meteorológicas:** Ciertos factores como la temperatura, la lluvia o la nieve afectan directamente al consumo eléctrico, especialmente en el sector residencial.

- **Eventos especiales:** Eventos deportivos, festividades o celebraciones pueden generar picos de consumo puntuales. (REE, Operación del sistema eléctrico, 2024)

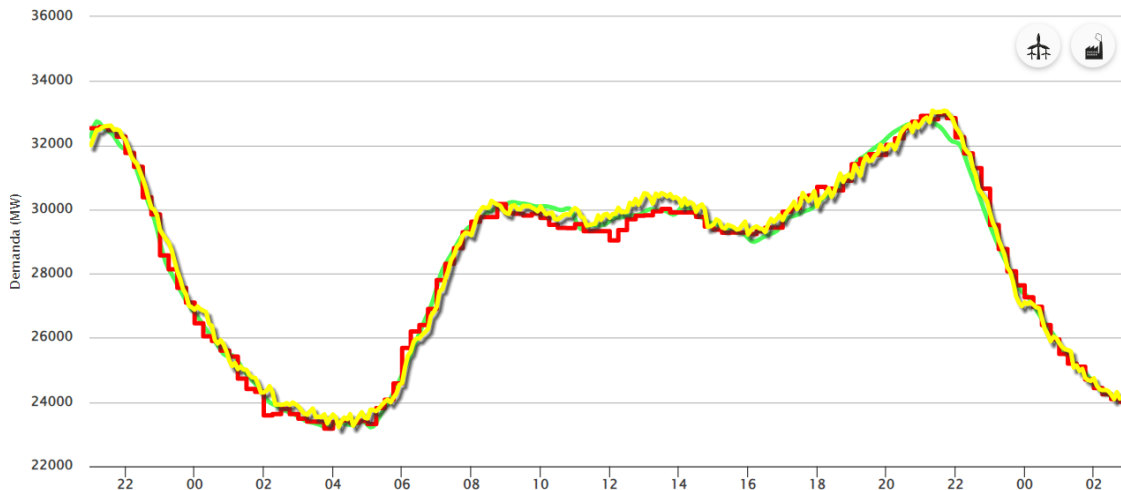


Ilustración 27: Curva de demanda nacional Fuente: (REE, Seguimiento de la demanda de energía eléctrica, 2024)

### 3.3.1 Gestión de la demanda

Para controlar la curva de la demanda se utiliza una estrategia llamada gestión de la demanda eléctrica y está formada por un conjunto de acciones dirigidas para influir en el consumo de electricidad de los usuarios con el objetivo de mejorar la eficiencia y la estabilidad del sistema eléctrico.

A continuación, se van a explicar las medidas de gestión de la demanda:

- **Reducción del consumo:** Promulgar el ahorro de energía cuando no se está utilizando y fomentar el uso de aparatos más eficientes.
- **Desplazamiento del consumo de las horas punta a las horas valle:** Implementación de tarifas que dispongan de discriminación horaria con el fin de beneficiar a los clientes que consumen energía en horas valle y penalizar el consumo durante las horas punta ayudando así a aplanar la curva de consumo.
- **Llenado de periodos valle:** En esta medida el vehículo eléctrico juega un papel fundamental debido a que la mayoría de las recargas que realizan sus usuarios son por la noche, debido al bajo precio del kWh y contribuyendo así a equilibrar el consumo.
- **Reducción del consumo en horas punta:** Reducir el consumo en las horas pico con el objetivo de aplanar la curva de demanda para mejorar la eficiencia y calidad del suministro eléctrico.

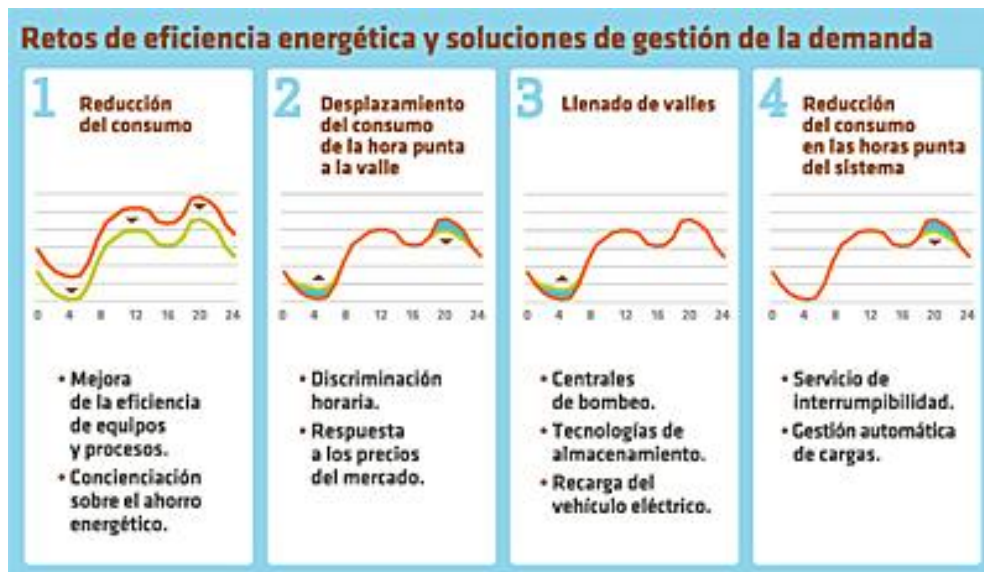


Ilustración 28: Gestión de la demanda Fuente: (Flexilwatts, 2023)

A continuación, se van a ver las aplicaciones de la gestión de la demanda enfocadas a la recarga del vehículo eléctrico. Estas estrategias se centran principalmente en la redistribución de los patrones y se logran a través de los siguientes puntos:

- **Tarifación dinámica:** Mediante un tarifa dinámica que ajuste el precio de la electricidad para la recarga, mediante incentivos a los usuarios en momentos de menor demanda.
- **Programas de respuesta a la demanda:** Recompensar a los usuarios, que bajo demanda reduzca su consumo de recarga durante periodos críticos.
- **Promoción de la recarga inteligente:** Implementar sistemas que permitan a los usuarios programar inteligentemente sus horarios de recarga para aprovechar los momentos de menor consumo con precios más económicos.

En España, se han puesto una serie de programas con el fin de promover las soluciones para la gestión de la demanda y así optimizar el sistema eléctrico:

- **Plan Nacional de Gestión de la Demanda:** En el año 2021 el gobierno estableció una hoja de ruta con el fin de generar estrategias de gestión de la demanda incluyendo los rectores residenciales, industriales y comerciales.
- **Proyecto piloto REE-Gestión de la Demanda:** Red Eléctrica Española inicio un proyecto piloto donde implementaba distintas tecnologías y estrategias de gestión de la demanda en hogares y pequeñas empresas con el fin de reducir el gasto ayudando a optimizar la red.
- **Programa ECO de Endesa:** Con este programa Endesa ha sacado una serie de tarifas especiales para la recarga del vehículo eléctrico a un precio muy bajo en los momentos de menor consumo.

- **Iniciativa ZE MOBILITY de Iberdrola:** Una iniciativa que ha potenciado la instalación de puntos de recarga inteligentes desarrollando soluciones de gestión de la demanda.

La intención de esta iniciativas es promocionar el vehículo eléctrico y los grandes beneficios que trae consigo como la integración de las energías renovables y la implementación de redes eléctricas inteligentes (Smart Grids). Estos temas se comentarán más adelante.

## 4. Análisis de ciclo de vida de los vehículos eléctricos

Durante este apartado se va a realizar una análisis del ciclo de vida de los vehículos eléctricos, con el fin de tener todas las herramientas necesarias para posteriormente poder realizar una cuantificación tanto económica como medioambiental de este ciclo de vida. (Gestamp, 2022)

### 4.1 Producción de vehículos eléctricos

#### 4.1.1.1 Extracción de materias primas

El primer paso para fabricar un vehículo es la obtención de sus materias prima esenciales para la fabricación de las piezas más importantes como son los motores y las baterías eléctricas. Estas materias primas son las siguientes:

- **Litio:** Se extrae en su mayoría de las salmueras de Chile y Argentina y es un componente principal en las baterías.
- **Cobalto:** Proviene principalmente de la República Democrática del Congo y su uso principal es para los cátodos de las baterías.
- **Níquel:** Sus principales exportadores son Indonesia, Rusia y Filipinas. Tanto las baterías como los motores están compuestos por este material, el cual produce mucha contaminación para el suelo y las aguas durante su extracción.
- **Aluminio:** Es un mineral extraído de la bauxita, muy común en todo el mundo. Se utiliza en la carrocería .
- **Cobre:** Chile, Perú y China son los principales productores. Se utiliza en el cableado y otros componentes eléctricos de los vehículos.

#### 4.1.1.2 Procesamiento y refinamiento

El siguiente paso en el procesamiento y refinado. Esta etapa tiene como finalidad obtener los materiales puros necesarios para los componentes.

- **Litio:** Se extrae de su yacimiento en forma de salmuera y su tratamiento se basa en la extracción del carbonato de litio. El cual posteriormente se purifica para usarlo en la fabricación de las baterías.

- **Cobalto:** Su tratamiento tiene como finalidad eliminar sus impurezas para posteriormente, igual que el litio, utilizarlos en la fabricación de baterías.
- **Níquel:** Es sometido a un refinado para purificar la materia prima y fabricar motores y baterías.
- **Aluminio:** El mineral obtenido de la bauxita se procesa para obtener alúmina, que posteriormente se electroliza para producir aluminio puro.
- **Cobre:** El cobre se refina para purificarlo.

#### 4.1.1.3 Fabricación de componentes

Una vez procesadas y refinadas se utilizan para fabricar los componentes del vehículo:

- **Baterías:** Las baterías están formadas por un conjunto de celdas. Estas celdas se componen por el cátodo formado por cobalto y níquel y el ánodo formado por litio y el electrolito. La fabricación de este componente es el que más energía consume y el que más emisiones de gases provoca.
- **Motores:** Para su fabricación se utilizan una gran cantidad de materiales donde se acero, aluminio y cobre. Junto a las baterías son los procesos más complejos y contaminantes.
- **Electrónica de potencia:** Son los encargados de controlar el flujo de energía del vehículo eléctrico y para su fabricación se utilizan semiconductores y otros componentes electrónicos.
- **Carrocería:** El principal material del que se componen las carrocerías de los vehículos eléctricos es el aluminio.

#### 4.1.1.4 Ensamblaje y proceso final

Los componentes fabricados anteriormente se ensamblan, sueldan y pintan para obtener el vehículo en su conjunto.



*Ilustración 29: Fabricación de un vehículo eléctrico Fuente: elDiario*

## 4.1.2 Uso y operación

Esta es la etapa más importante ya que los vehículos eléctricos no generan gases contaminantes durante su uso. Esto no quiere decir que no contaminen debido a que, si la electricidad es generada mediante un medio contaminante, estas emisiones se van a computar durante su uso, sin embargo, si esta energía se obtiene a través de fuentes renovables se puede conseguir un balance neto nulo que va a provocar una gran disminución de su impacto ambiental en el análisis de su ciclo de vida.

A continuación, se va a describir la vida útil de sus principales componentes:

**Baterías:** Su vida útil promedio oscila entre 8 y 10 años, dependiendo de diversos factores como la tecnología de la batería, la química utilizada para su fabricación, las condiciones de uso y los hábitos de conducción:

- **Degradación gradual:** El paso del tiempo y el uso provoca una degradación de las baterías. Esta degradación se puede ver acelerada por la frecuencia de carga y sus métodos de carga.
- **Ciclos de carga:** La frecuencia y el tipo de carga, rápida o lenta, provoca una degradación de la capacidad de la batería.
- **Temperatura:** Las temperaturas extremas, tanto frías como cálidas, también son un factor que acelera la degradación de la batería.

**Motores:** Los motores eléctricos tienen una vida útil significativamente más larga que los motores de combustión interna, pudiendo superar los 20 años. Esto es debido a la simplicidad de los diseños contando con menos partes móviles y de fricción que reduce el desgaste y evita mantenimientos y es una de las principales ventajas de los vehículos eléctricos frente a los de combustión, ya que reduce los costos de mantenimiento y reemplazo a largo plazo.

## 4.1.3 Fin de vida útil y reciclaje de baterías

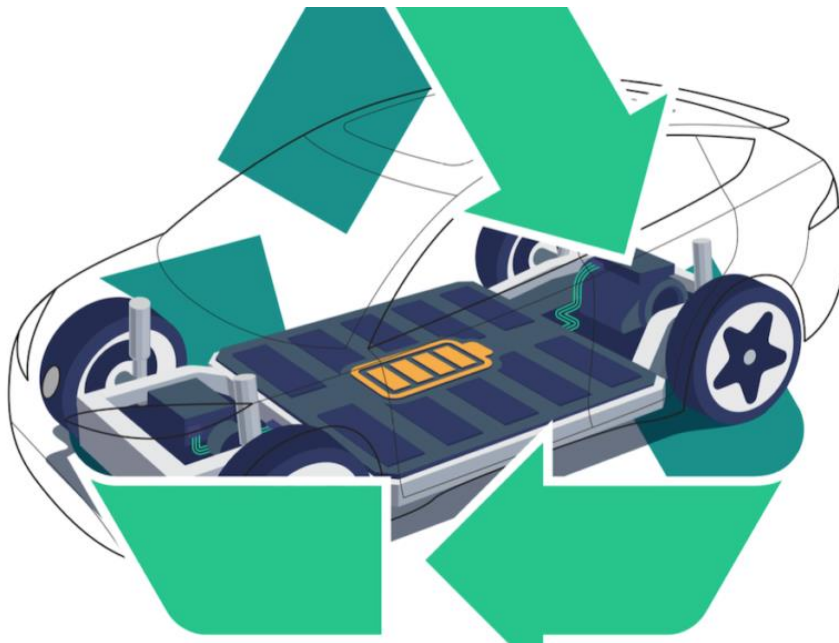
La etapa de uso y operación de los componentes del vehículo suele ser alrededor de 10 a 15 años o entre 160.000 y 240.000 km recorridos. Una vez terminada la vida útil del vehículo eléctrico, la siguiente etapa supone un factor muy importante para reducir su impacto ambiental durante el ciclo de vida completo y es el reciclaje de los componentes.

- **Baterías:** Cuando las baterías alcanzan unos porcentajes en torno al 70-80%, ya no son útiles para el vehículo eléctrico, pero si son adecuadas para otras aplicaciones:
  - **Almacenamiento de energía solar:** Permitiría almacenar los excedentes de fuentes renovables como la solar generados durante el día para su uso cuando sea necesaria.
  - **Respaldo para redes eléctricas:** Estos almacenamientos de energía extra que permitirían las baterías a las que se les ha dado una segunda vida pueden ayudar a la red a cubrir picos de demanda o posibles cortes.

- **Alimentar otros elementos eléctricos:** Las celdas de estas baterías se pueden usar para formar otras baterías que alimenten a vehículos eléctricos ligeros como carros de golf, Scooter y carretillas elevadoras o herramientas eléctricas portátiles como taladros, sierras y lijadoras.

La reutilización de baterías ofrece varias ventajas, incluyendo:

- **Reduce la demanda de materias primas:** La reutilización de las celdas que componen las baterías permitiría reducir las necesidades de materia prima ayudando a reducir el impacto ambiental que se genera durante la extracción y el proceso de refinado.
- **Crea oportunidades económicas:** La industria de la reutilización de baterías y tratamientos de residuos crea nuevas oportunidades de negocio y de trabajo.



*Ilustración 30: Reciclaje del Vehículo Eléctrico Fuente: Manly Battery*

Con la etapa de reciclaje de los componentes se consigue generar una economía circular que reduce el desperdicio y promueve el uso sostenible de los recursos según los criterios de la Agenda 2030. (Heliox, 2024)

## 5. Análisis del TCO

Una vez conocidas las características de los vehículos eléctricos es el momento de comenzar con sus análisis para posteriormente poder comparar y descubrir que tipos de vehículos son más rentables, más respetuosos con el medio ambiente y cuales tienen más beneficios.

### 5.1. Adquisición

Para comenzar con los análisis empezaremos por el análisis económico, ya que es el aspecto principal en el que se fijan los consumidores a la hora de seleccionar su próximo vehículos.

Para este análisis se van a calcular todos los costes que tienen asociados la compra y el uso de un vehículo a lo largo de todo el ciclo de vida para así calcular el Total Costo of Owernship (TCO). El primer paso para realizar este análisis es elegir los modelos sobre los que se van a realizar los estudios a lo largo de este trabajo.

Se han elegido 20 modelos, 4 vehículos de Diesel, 4 de Gasolina y 12 Eléctricos y son los siguientes:

Tabla 3: Modelos del estudio Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Tipo de combustible
Volkswagen Golf	Diesel
Hyundai Tucson	Diesel
Kia Sportage	Diesel
Mercedes-Benz c220d	Diesel
Renault Twingo Electric	Eléctrico
Fiat 500e	Eléctrico
Peugeot e-208	Eléctrico
Hyundai Kona Electric	Eléctrico
Volkswagen ID.3	Eléctrico
Kia e-Niro	Eléctrico
Tesla Model 3	Eléctrico
BMW i3	Eléctrico
Tesla Model Y	Eléctrico
Mercedes-Benz EQA	Eléctrico
BMW iX3	Eléctrico
Audi Q4 e-tron	Eléctrico
Fiat Panda	Gasolina
Peugeot 208	Gasolina
Renault Twingo	Gasolina
BMW X2	Gasolina

El conocimiento de los modelos de los vehículos a utilizar para el estudio nos hace conocer directamente su valor de adquisición, el cual aparece en el Anexo I. Aunque los valores de adquisición de cada vehículo varíe mucho en torno a la cantidad de extras y accesorios que tenga se ha cogido un precio promedio.

Como se ha ido y se va a seguir comentando a lo largo del trabajo el vehículo eléctrico es una apuesta hacia un futuro más sostenible y hacia la descarbonización del sector del transporte. Por lo que desde la unión europea y los distintos países que la componen se han puesto en marcha una serie de subvenciones que hagan más asequible la adquisición de estos vehículos. Para este trabajo nos vamos a basar en el Plan Moves III, nos vamos a centrar únicamente en esta iniciativa ya que es la que más cuantía de dinero ofrece a los consumidores y su uso excluye el resto de cualquier otra para este ámbito. En el Anexo I se explica más detalladamente en que consiste la ayuda, pero lo más destacable es que el gobierno puede subvencionar una cantidad de hasta 4.500€ y 7.000€ en caso de achatarrar el vehículo antiguo. (IDAE, 2024)

Esto nos abre el abanico de posibilidades para nuestro estudio y va a hacer que dentro de cada modelo tengamos varios casos, los vehículos de combustión que no tienen acceso a subvención (NAF), los vehículos eléctricos sin subvención (SF), con subvención (FSA) y con subvención y achatarramiento (FA). Lo que nos da unas cantidades de adquisición de:

Tabla 4: Precio de adquisición de los modelos de estudio Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Pago al contado (€)	Vehículo	Pago al contado (€)
<b>Audi Q4 e-tron FA</b>	51.660,00	Mercedes-Benz c220d NAF	50.000,00
<b>Audi Q4 e-tron FSA</b>	54.160,00	Mercedes-Benz EQA FA	50.000,00
<b>Audi Q4 e-tron SF</b>	58.660,00	Mercedes-Benz EQA FSA	52.500,00
<b>BMW i3 FA</b>	36.200,00	Mercedes-Benz EQA SF	57.000,00
<b>BMW i3 FSA</b>	38.700,00	Peugeot 208 NAF	20.000,00
<b>BMW i3 SF</b>	43.200,00	Peugeot e-208 FA	28.000,00
<b>BMW iX3 FA</b>	67.600,00	Peugeot e-208 FSA	30.500,00
<b>BMW iX3 FSA</b>	70.100,00	Peugeot e-208 SF	35.000,00
<b>BMW iX3 SF</b>	74.600,00	Renault Twingo Electric FA	19.000,00
<b>BMW X2 NAF</b>	45.800,00	Renault Twingo Electric FSA	21.500,00
<b>Fiat 500e FA</b>	22.500,00	Renault Twingo Electric SF	26.000,00
<b>Fiat 500e FSA</b>	25.000,00	Renault Twingo NAF	25.790,00
<b>Fiat 500e SF</b>	29.500,00	Tesla Model 3 FA	33.990,00
<b>Fiat Panda NAF</b>	15.900,00	Tesla Model 3 FSA	36.490,00
<b>Hyundai Kona Electric FA</b>	27.900,00	Tesla Model 3 SF	40.990,00
<b>Hyundai Kona Electric FSA</b>	30.400,00	Tesla Model Y FA	37.000,00
<b>Hyundai Kona Electric SF</b>	34.900,00	Tesla Model Y FSA	39.500,00
<b>Hyundai Tucson NAF</b>	30.725,00	Tesla Model Y SF	44.000,00
<b>Kia e-Niro FA</b>	31.700,00	Volkswagen Golf NAF	27.845,00
<b>Kia e-Niro FSA</b>	34.200,00	Volkswagen ID.3 FA	29.800,00
<b>Kia e-Niro SF</b>	38.700,00	Volkswagen ID.3 FSA	32.300,00
<b>Kia Sportage NAF</b>	34.140,00	Volkswagen ID.3 SF	36.800,00

Como se puede observar la financiación permite reducir considerablemente el precio de adquisición, en algunos casos hasta el 30% de su valor.

El precio de adquisición trae consigo un coste directo que se puede englobar en el desembolso inicial, que es la instalación del cargador el cual el precio puede oscilar entre los 800€ y 2.000€ y según el plan Moves III puede financiarse hasta el 80% según la localidad.

## 5.2. Operación

Una vez conocido el desembolso inicial el siguiente paso es estudiar el coste de operación, para ello se han utilizado los precios medios de las compañías distribuidoras de las energías que impulsan estos vehículos y se han sacado los precios medios de los años 2023 y 2024 del precio de los combustibles fósiles y el valor de las tarifas eléctricas de las principales comercializadores de España y de los cargadores públicos, el cual usaremos para calcular el precio del 15% de los kilómetros recorridos. En el Anexo se incide más ampliamente en la información encontrada, para continuar se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5: Precio de la energía Fuente: Elaboración propia

Tipo de combustible	€/L o €/kWh
Diesel	1,65
Gasolina	1,705
Eléctrico	0,03
Punto de recarga publico	0,4

Conociendo el precio de la energía y el consumo de esta por vehículo se puede obtener el coste de recorrer cada kilómetro:

Tabla 6: Coste €/km Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Consumo (l/100 km o kWh/100 km)	€/km
BMW X2	6,5	0,1108
Fiat Panda	5,5	0,0938
Hyundai Tucson	6,7	0,1106
Kia Sportage	6,4	0,1056
Mercedes-Benz c220d	4,8	0,0792
Peugeot 208	5,8	0,0989
Renault Twingo	5,6	0,0955
Volkswagen Golf	5,9	0,0974
BMW iX3	18,5	0,0158
Renault Twingo Electric	18,2	0,0156
Audi Q4 e-tron	18,1	0,0155
Kia e-Niro	15,6	0,0133
Tesla Model Y	15	0,0128
Tesla Model 3	14,9	0,0127
Mercedes-Benz EQA	14,8	0,0127
Peugeot e-208	14,8	0,0127

<b>Volkswagen ID.3</b>	14,5	0,0124
<b>BMW i3</b>	14,3	0,0122
<b>Fiat 500e</b>	14,3	0,0122
<b>Hyundai Kona Electric</b>	14,3	0,0122

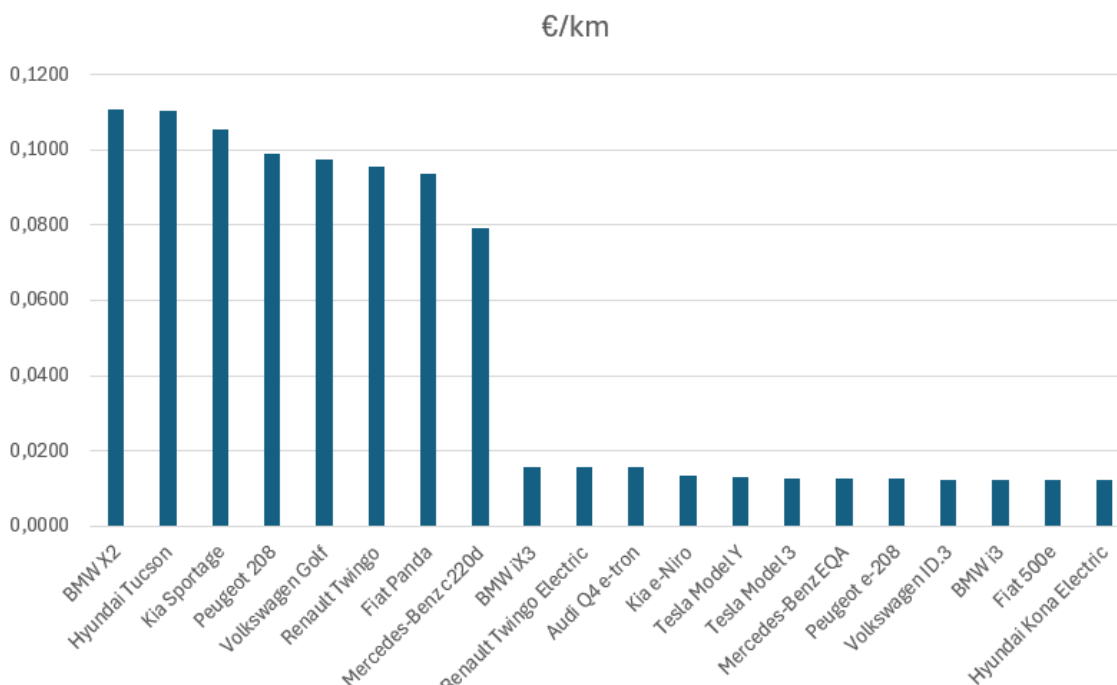


Ilustración 31: Coste €/km Fuente: Elaboración propia

### 5.3. Mantenimiento

Una vez conocidos los costes de uso, debemos añadirles a estos los costes de mantenimiento. Para este punto se han tenido en cuenta gastos como el seguro, mantenimiento preventivo, reparaciones, desgaste, cambio de neumáticos. Como son cuantías muy relativas y dependientes de cada caso de estudio, hasta dentro del propio modelo se ha realizado una estimación por modelo y precio que se detalla en el Anexo I.

### 5.4. Impuestos asociados

Llegados a este punto del estudio conocemos todos los gastos de su ciclo de vida, pero no todo son gastos, como se ha comentado los vehículos eléctricos tienen una serie de puntos a tener en cuenta que hace que el coste de su uso se reduzca, los puntos más beneficiosos para los vehículos eléctricos se detallan a continuación:

- **Impuesto de matriculación:** Exento para los vehículos eléctricos.
- **Impuesto de circulación:** Bonificado durante los 4-6 primeros años para los vehículos eléctricos.
- **Declaración de la renta:** Deducción de un 40% del precio del vehículo con un máximo de 2.500€.

- **Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI):** Bonificación del 50% durante los primeros años de matriculación.
- **Peajes:** Acceso a peajes con descuento o gratuitos.

Para terminar el apartado se va a tener en cuenta otro aspecto que puede reducir el TCO de los vehículos, es su valor residual y de mercado. Los vehículos eléctricos pierden valor más rápido que los vehículos de combustión, pero se ha demostrado que antes de llegar a la década el valor residual de ambos es negativo, por eso se ha tenido en cuenta el valor de mercado, el cual es superior. Se estima que el valor de mercado de un vehículo eléctrico a los 20 años es del 6% de su valor y de los vehículos de combustión del 12%, muy bajo en ambos casos pero que va a ayudar a su amortización.

## 5.4. TCO

Con todos estos datos recogidos se ha calculado el TCO para cada modelo y caso de estudio para un recorrido de 200.000 km y 400.000 km y el resultado es el siguiente:

*Tabla 7: Cálculo del TCO Fuente: Elaboración propia*

Vehículo y financiación	€/km en 250.000	€/km en 400.000
BMW X2 NAF	0,326	0,245
Mercedes-Benz c220d NAF	0,323	0,231
BMW iX3 SF	0,335	0,211
Hyundai Tucson NAF	0,266	0,208
Kia Sportage NAF	0,268	0,207
BMW iX3 FSA	0,312	0,196
BMW iX3 FA	0,302	0,190
Volkswagen Golf NAF	0,230	0,180
Audi Q4 e-tron SF	0,276	0,174
Mercedes-Benz EQA SF	0,268	0,169
Renault Twingo NAF	0,208	0,166
Peugeot 208 NAF	0,196	0,160
Audi Q4 e-tron FSA	0,253	0,159
Mercedes-Benz EQA FSA	0,245	0,154
Audi Q4 e-tron FA	0,243	0,153
Tesla Model Y SF	0,235	0,148
Mercedes-Benz EQA FA	0,235	0,148
Fiat Panda NAF	0,171	0,142
Tesla Model 3 SF	0,218	0,138
Tesla Model Y FSA	0,212	0,134
BMW i3 SF	0,208	0,131
Tesla Model Y FA	0,202	0,127
Kia e-Niro SF	0,195	0,123
Tesla Model 3 FSA	0,194	0,123
Volkswagen ID.3 SF	0,186	0,117

<b>Tesla Model 3 FA</b>	0,184	0,117
<b>BMW i3 FSA</b>	0,184	0,116
<b>Hyundai Kona Electric SF</b>	0,180	0,113
<b>BMW i3 FA</b>	0,174	0,110
<b>Kia e-Niro FSA</b>	0,171	0,108
<b>Peugeot e-208 SF</b>	0,164	0,104
<b>Volkswagen ID.3 FSA</b>	0,162	0,103
<b>Kia e-Niro FA</b>	0,161	0,102
<b>Hyundai Kona Electric FSA</b>	0,156	0,099
<b>Volkswagen ID.3 FA</b>	0,152	0,096
<b>Hyundai Kona Electric FA</b>	0,146	0,092
<b>Peugeot e-208 FSA</b>	0,141	0,089
<b>Fiat 500e SF</b>	0,138	0,088
<b>Peugeot e-208 FA</b>	0,131	0,083
<b>Renault Twingo Electric SF</b>	0,129	0,082
<b>Fiat 500e FSA</b>	0,115	0,073
<b>Renault Twingo Electric FSA</b>	0,105	0,067
<b>Fiat 500e FA</b>	0,105	0,067
<b>Renault Twingo Electric FA</b>	0,095	0,061

Como se puede observar el valor de adquisición de los vehículos eléctricos es superior al de los vehículos de combustión de características similares, pero el bajo coste de la electricidad en comparación al precio de las gasolineras hace que el coste por kilómetro de los vehículos eléctricos sea incomparable al de los vehículos de combustión, diferencia la cual se va incrementando con el aumento de la distancia recorrida durante su ciclo de vida. (Ministerio de transportes y movilidad sostenible, 2023)

## 6. Análisis del Impacto ambiental durante el ciclo de vida

Realizado el análisis económico el siguiente a realizar es el análisis medioambiental. En el pensamiento de los usuarios de los de vehículos está muy arraigado el pensamiento de que los vehículos de eléctricos son muy perjudiciales y contaminantes para el medioambiente debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> que producen sus batería, por lo que en este punto trataremos de esclarecer este tema y averiguar que vehículos contaminan más durante su ciclo de vida.

Para este estudio, al igual que para el análisis económico, se estudiarán todas las etapas del ciclo de vida, desde su fabricación hasta el fin de su vida, utilizando la base de datos de la Sociedad de Evaluación del Ciclo de Vida de Japón (JLCA). (Ryuji Kawamoto, 2019)

### 6.1. Fabricación

Comenzando por la etapa de fabricación, para el estudio se ha dividido los vehículos en 4 bloques principales, donde se centran el núcleo de emisiones de CO<sub>2</sub>. Estos bloques principales son el Chasis, el motor y transmisión de los vehículos de combustión, el motor e inversor eléctrico y la batería:

- **Chasis:** Representa el 76,8% del vehículo, lo que según el estudio corresponde con 3,46 kg-CO<sub>2</sub>/kg de vehículo eléctrico, 4,04 kg-CO<sub>2</sub>/kg de vehículo Diesel, y 4,19 kg-CO<sub>2</sub>/kg de vehículo de gasolina.
- **Motor y transmisión:** Se estima el resto de las emisiones, 1.274 kg-CO<sub>2</sub>, para los vehículos de gasolina y 1.539 kg-CO<sub>2</sub> para los vehículos Diesel debido a los 50 kg más que pesan estos componentes para este tipo de vehículos.
- **Motor e inversor eléctrico:** Estimado entre 641 kg-CO<sub>2</sub> y 1.070 kg-CO<sub>2</sub> según el estudio Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles.
- **Batería eléctrica:** Hay valores muy dispares diferenciando el estudio del que se obtiene la información y puede variar entre 121 kg-CO<sub>2</sub>/kWh y 250 kg-CO<sub>2</sub>/kWh pero para el estudio se ha estimado un valor promedio de 177 kg-CO<sub>2</sub>/kWh.

Conocidas estas relaciones y el peso y capacidad de las baterías de los vehículos se puede obtener los kg equivalentes de CO<sub>2</sub> estimados: (JLCA, 2022)

Tabla 8: kg de CO<sub>2</sub> durante la fabricación Fuente: Elaboración propia

Vehículo	kg CO <sub>2</sub> Fabricación
Audi Q4 e-tron	23.880,06
Tesla Model Y	23.246,97
Tesla Model 3	21.989,17
BMW iX3	21.770,16

<b>Mercedes-Benz EQA</b>	18.657,86
<b>Kia e-Niro</b>	18.536,96
<b>Hyundai Kona Electric</b>	18.340,58
<b>Volkswagen ID.3</b>	17.501,49
<b>Peugeot e-208</b>	14.107,99
<b>BMW i3</b>	12.860,75
<b>Fiat 500e</b>	8.703,21
<b>Renault Twingo Electric</b>	8.041,81
<b>Mercedes-Benz c220d</b>	7.986,21
<b>Kia Sportage</b>	7.748,45
<b>Hyundai Tucson</b>	7.717,43
<b>BMW X2</b>	6.720,97
<b>Volkswagen Golf</b>	5.961,30
<b>Peugeot 208</b>	4.434,08
<b>Renault Twingo</b>	3.951,66
<b>Fiat Panda</b>	3.806,23

## 6.2. Operación

Conocidas las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes durante su fabricación, el siguiente paso es calcular las emisiones producidas durante su uso. Para ello se va a usar un factor de emisión durante su producción y combustión para los combustibles fósiles y de generación de energía eléctrica. (Thinkstep, 2023) (Kainou, 2022)

Se debe de tener en cuenta que el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> para la generación de electricidad puede variar mucho dependiendo del origen de esta electricidad, ya que, si proviene de fuentes renovables sus emisiones de CO<sub>2</sub> a la larga y teniendo en cuenta el impacto de su construcción podría ser prácticamente nulo, pero para este trabajo se ha estimado un valor promedio.

- Gasolina:
  - Factor de producción: 0,82 kg-CO<sub>2</sub>/L
  - Factor de combustión: 2,28 kg-CO<sub>2</sub>/L
- Diesel:
  - Factor de producción: 0,94 kg-CO<sub>2</sub>/L
  - Factor de combustión: 2,62 kg-CO<sub>2</sub>/L
- Electricidad:
  - Factor de generación: 0,34 kg-CO<sub>2</sub>/kWh

Conociendo el consumo de cada vehículo, se puede calcular los kg CO<sub>2</sub>/km emitidos:

Tabla 9: kg CO2/km Fuente: Elaboración propia

Vehículo	kg CO2/km
Hyundai Tucson	0,24
Kia Sportage	0,23
Volkswagen Golf	0,21
BMW X2	0,20
Peugeot 208	0,18
Mercedes-Benz c220d	0,17
Renault Twingo	0,17
Fiat Panda	0,17
Audi Q4 e-tron	0,06
BMW iX3	0,06
Tesla Model Y	0,05
Tesla Model 3	0,05
Kia e-Niro	0,05
Mercedes-Benz EQA	0,05
Hyundai Kona Electric	0,05
Volkswagen ID.3	0,05
Peugeot e-208	0,05
Renault Twingo Electric	0,06
BMW i3	0,05
Fiat 500e	0,05

### 6.3. Mantenimiento

A la emisión de contaminantes durante el uso, hay que sumarle las emisiones derivadas del mantenimiento, para el que se va a tener en cuenta los siguientes mantenimientos con sus respectivas estimaciones según el JLCA: (BMW, 2022) (Volkswagen, 2023) (Nissan, 2022)

- **Neumático:** Un mantenimiento cada 40.000 km con una emisiones de 108 kg de CO2 por mantenimiento.
- **Batería de ácido sólido:** Un mantenimiento cada 50.000 km con una emisiones de 19,5 kg de CO2 por mantenimiento.
- **Aceite de motor:** Un mantenimiento cada 10.000 km con una emisiones de 3,22 kg de CO2 por mantenimiento.
- **Líquido de radiador:** Un mantenimiento cada 27.000 km con una emisiones de 7,03 kg de CO2 por mantenimiento.
- **Batería Ion litio:** Un mantenimiento cada 160.000 km con una emisiones de 6.337 kg de CO2 por mantenimiento.

Una vez conocidos todos estos datos, se aplica la misma metodología que para el cálculo económico y el resultado es el siguiente:

Tabla 10: Emisiones de CO2 durante la vida útil del vehículo Fuente: Elaboración propia

Vehículo	kg CO2/km	kg CO2/km
----------	-----------	-----------

	250.000 km	400.000 km
<b>Hyundai Tucson</b>	0,273	0,261
<b>Kia Sportage</b>	0,263	0,251
<b>Volkswagen Golf</b>	0,238	0,229
<b>BMW X2</b>	0,232	0,222
<b>Peugeot 208</b>	0,201	0,195
<b>Mercedes-Benz c220d</b>	0,206	0,195
<b>Renault Twingo</b>	0,193	0,187
<b>Fiat Panda</b>	0,189	0,184
<b>Audi Q4 e-tron</b>	0,200	0,164
<b>BMW iX3</b>	0,193	0,160
<b>Tesla Model Y</b>	0,187	0,152
<b>Tesla Model 3</b>	0,181	0,148
<b>Kia e-Niro</b>	0,170	0,142
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	0,168	0,140
<b>Hyundai Kona Electric</b>	0,165	0,137
<b>Volkswagen ID.3</b>	0,162	0,136
<b>Peugeot e-208</b>	0,149	0,128
<b>Renault Twingo Electric</b>	0,137	0,125
<b>BMW i3</b>	0,143	0,123
<b>Fiat 500e</b>	0,126	0,113

Como se puede observar tras realizar el estudio las emisiones de CO2 de los vehículos eléctricos durante su fabricación son muy superiores a los vehículos de combustión, por lo que el concepto que tienen los usuarios en la cabeza no es erróneo, pero no tienen en cuenta el factor más importante, y es que las emisiones de CO2 durante su uso triplican o quintuplican en algunos casos las del vehículo de combustión en comparación con el eléctrico. Por lo que al igual que para el análisis económico lo que decanta la balanza hacia el vehículo eléctrico en cuanto a sostenibilidad son los kilómetros recorridos, diferencia que se agranda de forma directamente proporcional con el aumento de los kilómetros. En el Anexo II se desglosan más profundamente las emisiones de CO2 por etapas para poder ver de forma más específica de donde salen las diferencias.

## 7. Políticas sobre el vehículo eléctrico

Como se ha ido comentando a lo largo del trabajo, hay una gran cantidad de políticas, normativas, leyes, decretos y etcétera que afectan directamente al vehículo eléctrico. Aunque la cantidad de políticas tanto a nivel español como europeo que afecten al ámbito de este trabajo son inmensas, en este apartado se van a resumir las más importantes y en el Anexo III se van a detallar más específicamente.

Para el tratamiento de estas políticas el apartado se va a dividir en distintos bloques donde se tratarán sus ideas fundamentales. (BOE, 2024) (Europea, 2024)

### 7.1. Marco legal y estratégico

Tabla 11: Políticas del marco estratégico Fuente: Elaboración propia

Política	Medidas
Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética	Donde se crea el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 cuyo principal objetivo es conseguir que todos los vehículos sean de cero emisiones para el año 2050 y que el 42% de la energía consumida provenga de fuentes renovables.
Real Decreto 960/2020 régimen económico para las energías renovables	Establecimiento de un Régimen Económico de Energías Renovables que mejora el atractivo hacia la inversión en esta tecnología.
Estrategia Española de Electromovilidad 2021-2025	Hoja de ruta para alcanzar 25 millones de vehículos de cero emisiones en circulación para el año 2050. Hoja de ruta para la instalación de 80.000 puntos de recarga para el año 2030.

### 7.2. Incentivos y beneficios fiscales

Tabla 12: Políticas de incentivos y ayudas Fuente: Elaboración propia

Política	Medidas
Real Decreto 266/2021 Plan Moves III	Por el que se establece el programa de incentivos y subvenciones más importante para la adquisición de vehículos eléctricos e instalación de infraestructuras de recarga.
Ley 35/2006, de 29 de noviembre	Deducción en la declaración de la renta del 40% del coste de adquisición del vehículo eléctrico hasta 2.500€.
Ley 38/1992, de 29 de diciembre	Los compradores de vehículos eléctricos están exentos de pagar impuesto de matriculación.
Real Decreto Legislativo 2/2004	Reducción de la tasa anual a pagar por el Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica (IVTM)
Ordenanzas municipales	Permiso de circulación gratuito o bonificado durante los primeros años desde la adquisición del vehículo eléctrico.
Ordenanzas municipales	Acceso a zonas de bajas emisiones y estacionamiento gratuito

### 7.3. Políticas sobre la infraestructura de recarga

Tabla 13: Políticas sobre la infraestructura de recarga Fuente: Elaboración propia

Política	Medidas
Hoja de Ruta para el Despliegue de Infraestructura de Recarga de Vehículos Eléctricos en España.	Impulso para la infraestructura eléctrica marcándose el objetivo de 98.000 puntos de recarga de acceso público para 2030.
Mapa de puntos de recarga de acceso público	El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha creado un mapa donde obtener la información actualizada sobre el estado de los puntos de recarga.

### 7.4. Políticas de investigación, desarrollo e innovación

Tabla 14: Políticas de investigación, desarrollo e innovación Fuente: Elaboración propia

Política	Medidas
Programas de I+D	El plan Moves ofrece además de subvenciones programas de asesoramiento técnico, networking y formación.
Programa CEI (Centro de Estudios de Innovación)	Ofrece proyectos de investigación, innovación y mixtos financiados con tipos de intereses muy competitivos y plazos de amortización muy amplios.
Colaboración público-privada	Políticas de creación de consorcios políticos privados como el plan MOVE-e o FAME donde empresas, universidades y organismos de investigación se unen en un bien común.

### 7.5. Políticas medioambientales

Tabla 15: Políticas medioambientales Fuente: Elaboración propia

Política	Medidas
Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética	Establece una reducción del 55% de emisiones con respecto a 1990 para el año 2030 y se enfoca en la descarbonización del sector transporte.
Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC)	Establecido en la Ley 7/2021, establece un plan para el aumentando de la cuota del vehículo eléctrico al 27% para 2030 y al 50% para el 2050.
Estrategia Española sobre la economía circular	Reducir la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO2 equivalente
Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera	Se establece una estrategia con el vehículo eléctrico como pieza clave para

## 7.6. Políticas Europeas

Tabla 16: Políticas Europeas Fuente: Elaboración propia

Política	Medidas
Reglamento (UE) 2019/631	Para el año 2030 reducir en un 65% las emisiones de CO2 de los vehículos nuevos en comparación con 2019.
Reglamento (UE) 2019/1242	Para el año 2025 la eficiencia energética deberá ser un 30% superior que en el 2019 y seguir incrementando hasta llegar a las cero emisiones en 2040 para los camiones y en 2049 para los autobuses.
Reglamento (UE) 2023/1542	Establece un marco legal para la gestión de las baterías de los vehículos eléctricos.
Planes nacionales de incentivos	Cada Estado miembro tiene la libertad de implementar sus propios planes de incentivos para la compra de vehículos eléctricos. <b>España:</b> El Plan Moves III <b>Francia:</b> El bono ecológico <b>Alemania:</b> El programa de primas para vehículos eléctricos
Directiva 2014/94/UE	Se definen las obligaciones de los estados miembros y los requisitos mínimos de las infraestructuras de recarga.
Reglamento (UE) 2023/1804	Se establece el objetivo de puntos de recarga en base a la estimación de vehículos eléctricos que circulen por cada estado miembro.
Fondos de la UE para el desarrollo de la infraestructura de recarga	Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) Programa Horizonte Europa Mecanismo para la Reconstrucción y la Resiliencia
Alianza Europea de Baterías	Tiene el objetivo de desarrollar una cadena de valor para asegurar la trazabilidad de las baterías con una serie de proyectos I+D: Proyecto ELLIS Proyecto AVATAR Proyecto MOSAiC
Directiva 2003/96/CE	Permite a los estados miembros eximir o reducir impuestos como el IVA, matriculación y circulación.
Planes nacionales de incentivos fiscales	Permite a cada estado miembro establecer planes fiscales para potenciar la compra de vehículos de cero emisiones.
Aranceles	Política debida a las prácticas desleales de los vehículos eléctrico provenientes de china, a los que se les ha impuesto un arancel entre el 17%-37%, lo que produce un frenazo en la adquisición de los vehículos eléctricos a los usuarios.

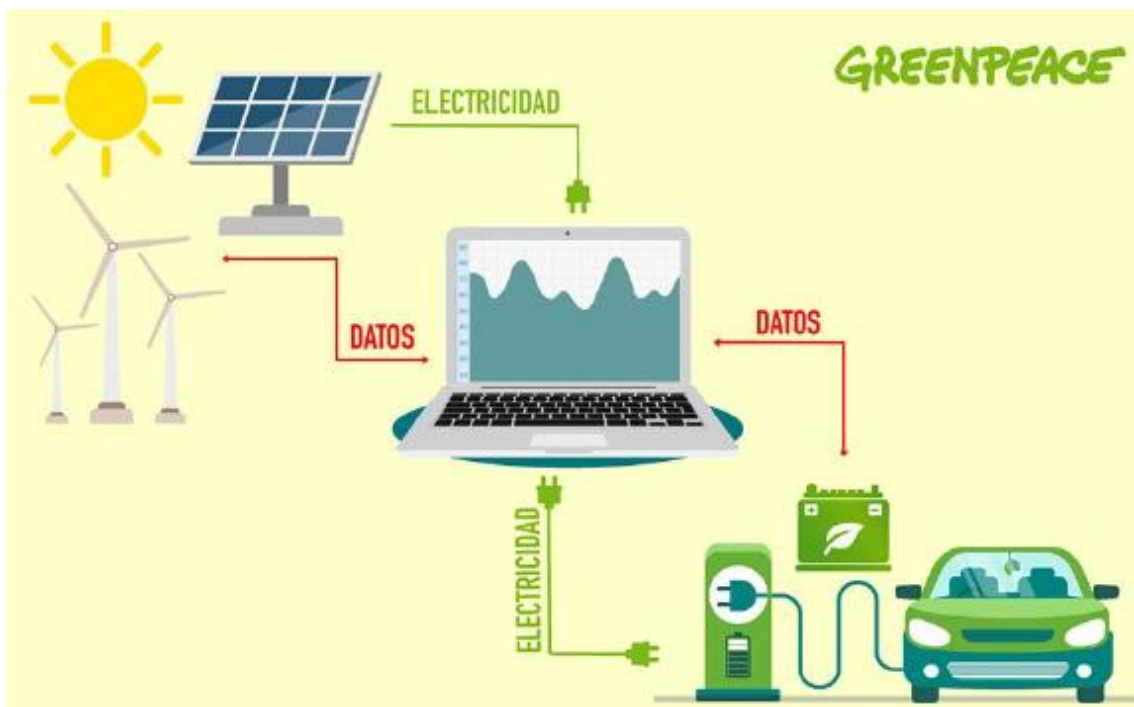
## 8. Aplicaciones del vehículo eléctrico en el futuro

En este apartado se van a tratar las 2 principales aplicaciones adicionales que tendrá el vehículo eléctrico en un futuro y las cuales nos podrán traer aún más beneficios.

### 8.1. Impacto en las energías renovables

La capacidad de almacenamiento de las baterías de los vehículos eléctricos cada vez es mayor, además si a esto le sumamos el aumento masivo de vehículos eléctricos en circulación que se espera durante las próximas décadas nos lleva a un escenario donde los vehículos eléctricos en conjunto cuentan con una capacidad de almacenamiento conectada a la red muy considerable.

Las sinergias entre las tecnologías renovables y el vehículo eléctrico son evidentes. El uso por parte del vehículo eléctrico de la electricidad producida por energía renovables reduce todavía más la emisión de contaminantes de CO2 durante su uso y el aumento masivo de estos vehículos unido con su gran capacidad de almacenamiento de sus baterías permitiría dar una solución al problema de almacenamiento actual, ayudando así a su gestionabilidad y a la falta de garantías de su suministro.



*Ilustración 32: Las energías renovables y el vehículo eléctrico Fuente: GREEN PEACE*

Teniendo en cuenta lo comentado, el papel del vehículo eléctrico en las fuentes renovables es muy importante y se beneficiarían ambas partes, ya que el usuario del vehículo eléctrico tendría la capacidad de recargar a un precio muy bajo usando los excedentes de la red. Esta energía una vez almacenada podría devolverse a la red en caso de necesidades trabajando de una forma muy similar a las centrales reversibles de bombeo.

Además, este aumento en la capacidad de almacenamiento y en la gestionabilidad permitiría una integración de más infraestructuras renovables lo que aumentaría la producción de electricidad de manera sostenible.

Para que esto ocurra es necesario que haya tecnologías desarrolladas que gestionen y controlen el almacenamiento de una forma eficiente, para esto existen distintos sistemas como el Battery Management System (BMS), algoritmos de optimización y sistemas de comunicación bidireccionales, los cuales están más desarrollados en el Anexo V. (Vindry, 2024)

## 8.2. SmartGrid

Enlazando el punto anterior del apartado con este, la adopción masivo del vehículo eléctrico y las tecnologías que llevan consigo no solo permitirían la integración de las energías renovables si no que permitiría cambiar la forma en la que conocemos la red actualmente. Esto sería debido a la creación de las SmartGrids, que para poner en contexto, son aquellas redes capaces de integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios que están conectados a ella de tal manera que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente caracterizado por las bajas pérdidas y los altos niveles de calidad y seguridad en el suministro.



*Ilustración 33: SmartGrid Fuente: IDEA Ingeniería*

La nueva capacidad de almacenamiento proporcionada por los vehículos eléctricos y las tecnologías de control y comunicación bidireccional unido a la integración de las energías renovables permite crear comunidades de distintos tamaños eléctricamente autosuficientes, eficientes y sostenibles.

Las tecnologías principales que describen a las SmartGrids dependiendo de su conectividad y comunicación con la red son las siguientes:

- **Vehicle to Home (V2H):** Permite la conexión con pequeñas viviendas.
- **Vehicle to Building (V2B):** Misma tecnología que el V2H, pero aplicada a edificios.
- **Vehicle to Grid (V2G):** Conexión entre los vehículos y la red.

Esta nueva tecnología permite mantener conectados a todos los sujetos de la red, generadores, consumidores, sistemas de almacenamiento gracias a contadores inteligentes y sistemas de gestión que trae consigo los siguientes beneficios: (Thompson, 2024)

*Tabla 17: Beneficios de las SmartGrids Fuente: Elaboración propia*

<b>Estabilización de la red</b>
<b>Integración de energías renovables</b>
<b>Regulación y estabilización de la red</b>
<b>Reducción de costes</b>
<b>Participación en el mercado eléctrico</b>
<b>Autonomía energética</b>
<b>Reducción de emisiones</b>
<b>Optimización del consumo</b>
<b>Reducción de picos de consumo</b>
<b>Sostenibilidad</b>

## 9. Conclusiones

Una vez que desarrollado todo el trabajo a lo largo de la memoria y con el apoyo de los anexos para explicar más exhaustivamente los cálculos realizados, para concluir el trabajo se van a resumir las conclusiones obtenidas.

Este trabajo ha demostrado que el vehículo eléctrico es el medio de transporte más rentable económica y medioambientalmente a lo largo de su vida útil gracias a su operación y a la gran cantidad de políticas que lo apoyan, eliminando así el mito arraigado entre los consumidores de que los vehículos eléctricos son mucho más caros y contaminantes que sus homónimos de combustible fósil.

Cierto es que, en los vehículos eléctricos, la cuantía inicial económica y las emisiones de CO2 generadas hasta la etapa de adquisición son mucho más elevadas que en los vehículos de combustión, pero este coste total se va reduciendo considerablemente a lo largo que se van recorriendo kilómetros.

Esta reducción es debida principalmente por el precio y la procedencia de la fuente energética, ya que económicamente hablando puede ser hasta 5 veces inferior el precio de la electricidad comparándolo con el petróleo durante la mayor parte de la vida útil del vehículo y medioambientalmente hablando la reducción aun es más drástica si tenemos en cuenta que 50,3% de la energía utilizada durante el 2023 proviene de energías renovables con unas emisiones de CO2 nulas, valor que va aumentando año a año (+8,1% respecto a 2022).

Esto queda demostrado en las siguientes graficas:

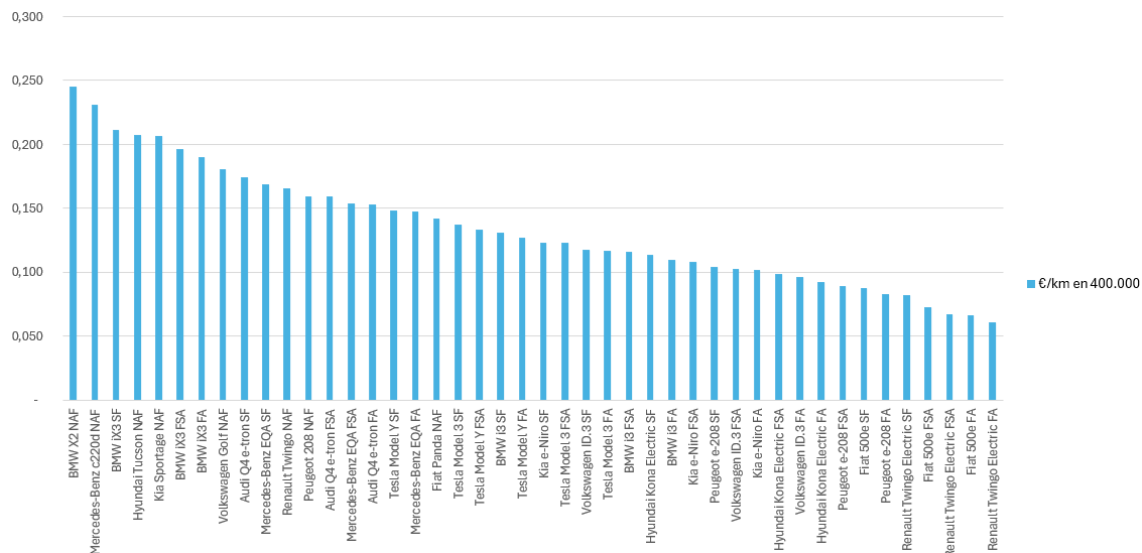


Ilustración 34: €/km en 400.000 km Fuente: Elaboración propia

Económicamente los vehículos eléctricos son mucho más rentables que los de combustión como se ha podido ver en la gráfica, donde estos modelos ocupan las 26 plazas con un coste por kilómetro más bajo de los 44 estudiados.

Estando resto de vehículos eléctricos en puestos superiores por el gran precio de adquisición de los modelos elegidos, cuyas prestaciones no se pueden comparar con los vehículos de combustión de costes similares al ser de gama

muy superior. En la siguiente tabla se puede apreciar como a costes de operación similares a lo largo de la vida útil, si se opta por la compra de un vehículo eléctricos se pueden adquirir vehículos con mayores prestaciones:

Tabla 18: Comparativa precio de adquisición y TCO de algunos modelos I Fuente: Elaboración propia

Vehículo y financiación	Tipo de combustible	Precio base (€)	€/km en 400.000
<b>BMW X2 NAF</b>	Gasolina	45.800,00	0,245
<b>Mercedes-Benz c220d NAF</b>	Diesel	50.000,00	0,231
<b>BMW iX3 SF</b>	Eléctrico	74.600,00	0,211
<b>Hyundai Tucson NAF</b>	Diesel	30.725,00	0,208

Tabla 19: Comparativa precio de adquisición y TCO de algunos modelos II Fuente: Elaboración propia

Vehículo y financiación	Tipo de combustible	Precio base (€)	€/km en 400.000
<b>Peugeot 208 NAF</b>	Gasolina	20.000,00	0,160
<b>Audi Q4 e-tron FSA</b>	Eléctrico	58.660,00	0,159
<b>Mercedes-Benz EQA FSA</b>	Eléctrico	57.000,00	0,154

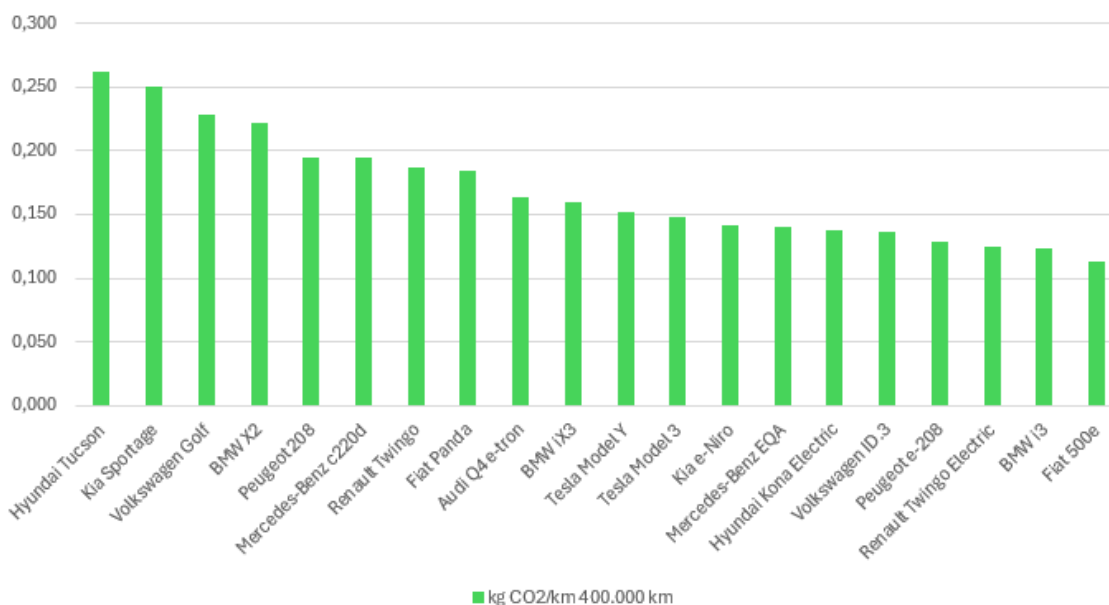


Ilustración 35: kg CO2/km en 400.000 km Fuente: Elaboración propia

Medioambientalmente hablando se puede ver que todos los modelos que ocupan la parte alta de la gráfica son modelos de combustión llegando hasta casi duplicar las emisiones generadas a lo largo de la vida útil entre el más y el menos contaminante. Todo esto gracias a la operación del vehículo donde el incremento de kilómetros recorridos reduce su huella de carbono como se puede comprobar en la siguiente tabla donde la gran diferencia de emisión de CO2 que nos encontramos en la fabricación se ve paliada durante su vida útil.

Tabla 20: Comparativa entre kg CO2 de fabricación y totales Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Tipo de combustible	kg CO2 Fabricación	kg CO2/km 400.000 km
<b>Hyundai Tucson</b>	Diesel	7.717,43	0,261
<b>Kia Sportage</b>	Diesel	7.748,45	0,251
<b>Volkswagen Golf</b>	Diesel	5.961,30	0,229
<b>BMW X2</b>	Gasolina	6.720,97	0,222
<b>Peugeot 208</b>	Gasolina	4.434,08	0,195
<b>Mercedes-Benz c220d</b>	Diesel	7.986,21	0,195
<b>Renault Twingo</b>	Gasolina	3.951,66	0,187
<b>Fiat Panda</b>	Gasolina	3.806,23	0,184
<b>Audi Q4 e-tron</b>	Eléctrico	23.880,06	0,164
<b>BMW iX3</b>	Eléctrico	21.770,16	0,160
<b>Tesla Model Y</b>	Eléctrico	23.246,97	0,152
<b>Tesla Model 3</b>	Eléctrico	21.989,17	0,148
<b>Kia e-Niro</b>	Eléctrico	18.536,96	0,142
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	Eléctrico	18.657,86	0,140
<b>Hyundai Kona Electric</b>	Eléctrico	18.340,58	0,137
<b>Volkswagen ID.3</b>	Eléctrico	17.501,49	0,136
<b>Peugeot e-208</b>	Eléctrico	14.107,99	0,128
<b>Renault Twingo Electric</b>	Eléctrico	8.041,81	0,125
<b>BMW i3</b>	Eléctrico	12.860,75	0,123
<b>Fiat 500e</b>	Eléctrico	8.703,21	0,113

Estas conclusiones tan favorables para los vehículos eléctricos del estudio se deben en parte al gran empujón que se da a estos vehículos por parte de los gobiernos promoviendo políticas de sostenibilidad en el transporte e implantando medidas que incentiven su compra.

Además la rentabilidad económica y medioambiental del vehículo eléctrico solo es el principio de sus beneficios ya que como se ha visto durante el trabajo el vehículo eléctrico nos abre los ojos ante las puertas de una nueva forma de conceptualizar la red dando un paso hacia la autosostenibilidad gracias a la posibilidad de impulsar redes eléctricas inteligentes y fuentes renovables.



# Anexo I: Vehículo eléctrico

## Tipos de Vehículos eléctricos

Como se ha comentado anteriormente, hay una gran variedad en cuanto a tipos de vehículos se refiere dependiendo del grado de electrificación y a continuación se va a realizar una visión general de cada tipo.

- **Coches Eléctricos de Batería (BEV):** Son vehículos impulsados exclusivamente por energía almacenada en baterías recargables. Los BEV cuentan con uno o varios motores eléctricos como sistema de impulsión y se recargan conectándolos a la red. No generan emisiones durante su uso.
- **Vehículos Eléctricos de Autonomía Extendida (REEV):** Son vehículos que constan de un motor eléctrico combinado con un generador de combustión interna, con el fin de obtener una mayor autonomía en comparación con los BEV. La función del motor de combustión interna es actuar como un generador para cargar las baterías.
- **Vehículos Híbridos no Enchufables (HEV):** Son vehículos que emplean tanto un motor de combustión interna como uno o más motores eléctricos para impulsar el vehículo. No se conectan a la red, la energía eléctrica se genera a través del frenado regenerativo y del motor de combustión y se almacena en una batería. Se pueden distinguir en 2 modelos
  - **Híbridos Ligeros (MHEV):** Constan de un motor de combustión interna combinado con un sistema eléctrico de 48 voltios cuya función es mejorar la eficacia, el rendimiento del vehículo y proporcionar un impulso adicional al motor de combustión.
  - **Híbridos Puros (SHEV):** Son vehículos que funcionan principalmente con el motor de combustión interna, pero en distancias cortas pueden funcionar únicamente con el motor eléctrico.
- **Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV):** Son vehículos que combinan un motor de combustión interna con uno o más motores eléctricos y una batería que al contrario que en los vehículos anteriores, estos sí que se pueden conectar a la red para recargarla. Ofrecen una mayor flexibilidad, ya que pueden funcionar solo con electricidad durante distancias cortas o cambiar al motor de combustión interna en viajes más largos. (V2C, 2023)

## Componentes principales del vehículo eléctrico

En este apartado se van a explicar brevemente los componentes principales de los vehículos eléctricos.

- **Toma de carga:** Es el componente que permite al vehículo conectarse a la red eléctrica para recargar sus baterías.
- **Controlador de carga:** Es el componente encargado de controlar y regular el flujo de energía desde la red eléctrica hacia la batería del vehículo. Su función es transformar la corriente alterna en corriente continua para su almacenamiento en las baterías.
- **Freno regenerativo:** El freno regenerativo es un sistema que transforma la energía cinética generada durante el frenado en energía eléctrica que puede ser usada para recargar las baterías del vehículo, lo que permite a los vehículos eléctricos aumentar tanto la autonomía como la eficiencia energética.
- **Sistema de refrigeración:** Su función es regular y mantener una temperatura adecuada con el fin de evitar sobrecalentamientos. Esto es fundamental para el óptimo funcionamiento de los componentes eléctricos, especialmente de las baterías y prolongar la vida útil de los elementos.
- **Inversor:** Transforma la corriente continua proveniente de las baterías en corriente alterna necesaria para alimentar el motor eléctrico en caso de ser de este tipo.
- **Conversor:** Su función es conectar la batería principal del vehículo con una batería auxiliar, la cual es la encargada de alimentar los componentes secundarios, reduciendo la tensión a 12V. (Toyota, 2023)
- **Motor:** Es el componente encargado de la impulsión del vehículo, para ello transforma la energía eléctrica en energía mecánica para crear el movimiento. Puede ser de corriente alterna o continua y su diseño influye en la necesidad de otros componentes. En la actualidad los principales motores usados en los vehículos eléctricos son los siguientes:
  - **Motor Asíncrono o de Inducción:** Es caracterizado por tener un rotor que no gira a la misma velocidad que el campo magnético producido por el estator, es decir, el campo magnético siempre está unos grados por delante del rotor.  
Este tipo de motor funciona con corriente alterna, tanto trifásica como monofásica.
  - **Motor Síncrono de Reluctancia Conmutada o Variable:** Este tipo de motor cuenta con un rotor equipado con partes metálicas donde se genera la corriente a través de bobinas.  
Ofrece altos niveles de par y potencia, especialmente a altas velocidades, y se caracteriza por su robustez y bajo costo. Estos motores son duraderos y económicos de fabricar.
  - **Motor Síncrono de Imanes Permanentes:** Estos motores mantienen una velocidad constante en el rotor, que corresponde al campo magnético generado por el estator. Hay dos tipos: de flujo radial y de flujo axial, dependiendo de la posición del campo magnético de inducción.  
Se utilizan comúnmente en vehículos con tecnología híbrida. No generan ruido, son robustos, no requieren mantenimiento y son ligeros. Además, son altamente eficientes a bajas revoluciones.

- **Motor sin Escobillas de Imanes Permanentes:** Este tipo de motor utiliza corriente continua en su funcionamiento y es común en vehículos híbridos. Funcionan con imanes permanentes en el rotor, alimentados secuencialmente en cada fase del estator. (DAZE, 2023)
- **Baterías:** Las baterías son un componente con una amplia gama de características y dependiendo del tipo de vehículo, se puede encontrar un tipo u otro. Aun con su variedad, las baterías de Litio-Ion son las más comunes para los vehículos eléctricos debido a su alta durabilidad y su gran capacidad para soportar numerosos ciclos de carga.
  - **Baterías de Plomo-ácido (PB-ácido):** Son baterías usadas comúnmente en los vehículos convencionales debido a su bajo costo. Su principal inconveniente es que son muy pesadas y tienen una capacidad de recarga lenta, además, su vida útil está limitada entre 50 y 800 ciclos de carga y descarga.
  - **Baterías de níquel-cadmio (NiCd):** Son baterías muy escasas en los vehículos eléctricos debido a su baja densidad energética y toxicidad. Tienen una vida promedio de uso de 5 a 7 años lo cual equivale a entre 1000 y 1500 ciclos de carga y descarga.
  - **Baterías de níquel-metal hidruro (NiMH):** Estas baterías tienen una densidad energética más alta que las de níquel-cadmio, pero son menos eficientes que las de iones de litio. Tienen una vida útil promedio de 5 a 8 años o de 500 a 1000 ciclos de carga y descarga.
  - **Baterías de iones de litio (Li-ion):** Como se ha comentado anteriormente estas baterías son las más comunes debido a su alta densidad energética, lo que se traduce en una gran capacidad de almacenamiento de energía en un espacio pequeño. Tienen una vida útil promedio de 8 a 10 años o de 1000 a 2000 ciclos de carga y descarga y almacenan su energía en forma de corriente continua.
  - **Baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO4):** Estas baterías son más seguras que las de iones de litio convencionales debido a su menor resistencia interna y su temperatura de fuga térmica. Lo que además permite tener una vida útil promedio prolongada que oscila de entre 10 a 15 años lo que equivale alrededor 2000 y 5000 ciclos de carga y descarga.
  - **Baterías de polímero de iones de litio (Li-Po):** Son baterías innovadoras que se caracterizan por utilizar un polímero en lugar de un líquido para transportar los iones de litio, lo que las hace más delgadas y ligeras. Tienen una vida útil promedio de 2 a 3 años o de 300 a 500 ciclos de carga y descarga, muy escaso para los vehículos eléctricos.
  - **Baterías de sodio-ion (Na-ion):** Utilizan sodio en lugar de litio como elemento activo, actualmente son baterías caras y menos seguras que las que se utilizan comúnmente. Todavía están en desarrollo y se necesita más investigación para determinar su vida útil. (Ferroval, 2024)

## Anexo II: Análisis económico y fiscal de la adopción de vehículos eléctricos

Una vez conocidos los aspectos necesarios a lo largo del ciclo de vida de los vehículos el siguiente paso es este trabajo es cuantificarlo económicamente. Para eso se van a revisar las etapas anteriormente vistas proporcionándoles un valor económico con el fin de analizar y comparar los costos a lo largo del ciclo de vida de los vehículos de combustión y eléctricos.

### Costes de compra

En este apartado, se va a presentar una comparación detallada del costo de compra del vehículo eléctrico y de combustión, incluyendo precios base de diferentes marcas y modelos.

Para ilustrar la diferencia en el costo de compra inicial, hemos seleccionado algunos ejemplos de modelos populares de diferentes marcas, comparando sus precios base:

Tabla 21: Comparativa de costo de compra de una serie de vehículos Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Tipo de combustible	Precio base (€)
<b>BMW iX3</b>	Eléctrico	74.600,00
<b>Audi Q4 e-tron</b>	Eléctrico	58.660,00
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	Eléctrico	57.000,00
<b>Mercedes-Benz c220d</b>	Diesel	50.000,00
<b>BMW X2</b>	Gasolina	45.800,00
<b>Tesla Model Y</b>	Eléctrico	44.000,00
<b>BMW i3</b>	Eléctrico	43.200,00
<b>Tesla Model 3</b>	Eléctrico	40.990,00
<b>Kia e-Niro</b>	Eléctrico	38.700,00
<b>Volkswagen ID.3</b>	Eléctrico	36.800,00
<b>Peugeot e-208</b>	Eléctrico	35.000,00
<b>Hyundai Kona Electric</b>	Eléctrico	34.900,00
<b>Kia Sportage</b>	Diesel	34.140,00
<b>Hyundai Tucson</b>	Diesel	30.725,00
<b>Fiat 500e</b>	Eléctrico	29.500,00
<b>Volkswagen Golf</b>	Diesel	27.845,00
<b>Renault Twingo Electric</b>	Eléctrico	26.000,00
<b>Renault Twingo</b>	Gasolina	25.790,00
<b>Peugeot 208</b>	Gasolina	20.000,00
<b>Fiat Panda</b>	Gasolina	15.900,00

El precio base es el factor diferencial sin ninguna duda a la hora de adquirir un vehículo de cualquier característica, pero hay más factores a tener en cuenta como los costes de financiación, incentivos o subvenciones.

Para este estudio no se van a considerar los costes de financiación y se incidirá en los planes europeos Next Generation que se encuentran en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Moves III. Esta es la subvención más potente a la hora de adquirir un vehículo eléctrico y su uso excluye la posibilidad de aprovechar otras subvenciones debido a sus incompatibilidades.

Este programa llamado MOVES III es un programa de ayudas a la movilidad sostenible financiado por la unión europea cuyo objetivo es incentivar la compra de vehículos eléctricos y la instalación de puntos de recarga.



*Ilustración 36: Programa Moves III*

Estas ayudas se rigen por el Real Decreto 266/2021, de 13 de abril y están dirigidas a:

- **Particulares**
- **Autónomos**
- **Empresas y entidades públicas**
- **Comunidades de propietarios**

La cuantía total de esta subvención es de 1.200 millones de euros. Anteriormente solo se podía solicitar para la adquisición de vehículos nuevos, pero desde el 1 de junio de 2023 se ha desbloqueado para la adquisición de vehículos con hasta 12 meses de antigüedad.

Además, el pasado 1 de enero de 2024, se aprobó una nueva modificación en la que se recoge que las empresas que soliciten ayuda para la instalación de infraestructuras de recargas con potencias  $\leq 22$  kW deberán acreditar la capacidad de soportar funcionalidades de recarga inteligentes.

Es subvención no cuenta con un importe fijo por solicitud si no que la cuantía de la ayudas varía en función del tipo de vehículo, del beneficiario y de la comunidad autónoma.

- **Para la compra de vehículos:** Las ayudas pueden llegar hasta los 7.000 euros (9.000 euros con achatarramiento) para vehículos comerciales ligeros M1 y hasta los 4.500 euros (7.000 euros con achatarramiento) para turismos N1.

- **Para la instalación de puntos de recarga:** Las ayudas pueden cubrir hasta el 70% del coste de la instalación, con un máximo de 800.000 euros por expediente.

Una vez conocidos los precios iniciales de los vehículos escogidos para el estudio se va a realizar una comparativa de los costes teniendo en cuenta la cuantía de la subvención solicitada.

Tabla 22: *Calculo de la financiación con la subvención Moves III Fuente: Elaboración propia*

Vehículo	Tipo de combustible	Precio base (€)	Subvención MOVES III (€)	Pago al contado (€)
<b>BMW iX3</b>	Eléctrico	74.600,00	-	74.600,00
<b>BMW iX3</b>	Eléctrico	74.600,00	4.500,00	70.100,00
<b>BMW iX3</b>	Eléctrico	74.600,00	7.000,00	67.600,00
<b>Audi Q4 e-tron</b>	Eléctrico	58.660,00	-	58.660,00
<b>Audi Q4 e-tron</b>	Eléctrico	58.660,00	4.500,00	54.160,00
<b>Audi Q4 e-tron</b>	Eléctrico	58.660,00	7.000,00	51.660,00
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	Eléctrico	57.000,00	-	57.000,00
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	Eléctrico	57.000,00	4.500,00	52.500,00
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	Eléctrico	57.000,00	7.000,00	50.000,00
<b>Mercedes-Benz c220d</b>	Diesel	50.000,00	-	50.000,00
<b>BMW X2</b>	Gasolina	45.800,00	-	45.800,00
<b>Tesla Model Y</b>	Eléctrico	44.000,00	-	44.000,00
<b>Tesla Model Y</b>	Eléctrico	44.000,00	4.500,00	39.500,00
<b>Tesla Model Y</b>	Eléctrico	44.000,00	7.000,00	37.000,00
<b>BMW i3</b>	Eléctrico	43.200,00	-	43.200,00
<b>BMW i3</b>	Eléctrico	43.200,00	4.500,00	38.700,00
<b>BMW i3</b>	Eléctrico	43.200,00	7.000,00	36.200,00
<b>Tesla Model 3</b>	Eléctrico	40.990,00	-	40.990,00
<b>Tesla Model 3</b>	Eléctrico	40.990,00	4.500,00	36.490,00
<b>Tesla Model 3</b>	Eléctrico	40.990,00	7.000,00	33.990,00
<b>Kia e-Niro</b>	Eléctrico	38.700,00	-	38.700,00
<b>Kia e-Niro</b>	Eléctrico	38.700,00	4.500,00	34.200,00
<b>Kia e-Niro</b>	Eléctrico	38.700,00	7.000,00	31.700,00
<b>Volkswagen ID.3</b>	Eléctrico	36.800,00	-	36.800,00
<b>Volkswagen ID.3</b>	Eléctrico	36.800,00	4.500,00	32.300,00
<b>Volkswagen ID.3</b>	Eléctrico	36.800,00	7.000,00	29.800,00
<b>Peugeot e-208</b>	Eléctrico	35.000,00	-	35.000,00
<b>Peugeot e-208</b>	Eléctrico	35.000,00	4.500,00	30.500,00
<b>Peugeot e-208</b>	Eléctrico	35.000,00	7.000,00	28.000,00
<b>Hyundai Kona Electric</b>	Eléctrico	34.900,00	-	34.900,00
<b>Hyundai Kona Electric</b>	Eléctrico	34.900,00	4.500,00	30.400,00
<b>Hyundai Kona Electric</b>	Eléctrico	34.900,00	7.000,00	27.900,00
<b>Kia Sportage</b>	Diesel	34.140,00	-	34.140,00
<b>Hyundai Tucson</b>	Diesel	30.725,00	-	30.725,00
<b>Fiat 500e</b>	Eléctrico	29.500,00	-	29.500,00
<b>Fiat 500e</b>	Eléctrico	29.500,00	4.500,00	25.000,00

<b>Fiat 500e</b>	Eléctrico	29.500,00	7.000,00	22.500,00
<b>Volkswagen Golf</b>	Diesel	27.845,00	-	27.845,00
<b>Renault Twingo Electric</b>	Eléctrico	26.000,00	-	26.000,00
<b>Renault Twingo Electric</b>	Eléctrico	26.000,00	4.500,00	21.500,00
<b>Renault Twingo Electric</b>	Eléctrico	26.000,00	7.000,00	19.000,00
<b>Renault Twingo</b>	Gasolina	25.790,00	-	25.790,00
<b>Peugeot 208</b>	Gasolina	20.000,00	-	20.000,00
<b>Fiat Panda</b>	Gasolina	15.900,00	-	15.900,00

Una vez calculados los costes de adquisición de los vehículos escogidos para el estudio se puede ver que los vehículos eléctricos tienen un precio inicial más alto comparándolos con los vehículos de combustión de características similares.

Una vez considerada la subvención Moves III se puede visualizar que los vehículos eléctricos reducen considerable su precio inicial gracias a esta subvención. Este ahorro puede estar entre un 8 y un 30% del precio base dependiendo del modelo y la cuantía de la subvención elegida (achatarramiento o achatarramiento + Plan) pudiendo llegar a una cantidad de hasta 4.500 € sin achatarramiento y 7.000€ con achatarramiento.

## Costes de operación

Uno de los principales puntos fuertes de los vehículos eléctricos que los hace extremadamente competitivos son sus costes de operación, tan grandes que ayudan a paliar su cuantía inicial superior.

En este apartado se van a comparar estos de vehículos eléctricos y de combustión tanto de gasolina como de Diesel, tomando como referencia los precios promedio de combustibles y tarifas eléctricas del 2023-2024.

### Precios de combustibles:

- Gasolina: 1,7 €/litro (media 2023-2024)
- Diesel: 1,65 €/litro (media 2023-2024)

### Precios de electricidad para recarga de vehículos eléctricos:

- **Endesa:**
  - Tarifa Nocturna Vehículo Eléctrico: 0,03 €/kWh (de 01:00h a 07:00h)
  - Tarifa SuperValle Vehículo Eléctrico: 0,1311 €/kWh (resto del horario)
  - Plan Recarga Total: Precio fijo mensual por kWh según potencia contratada (entre 0,15 €/kWh y 0,20 €/kWh)
- **Iberdrola:**
  - Plan Vehículo Eléctrico: 0,03 €/kWh (de 01:00h a 07:00h)
  - Tarifa DHA: Entre 0,14 €/kWh y 0,24 €/kWh, según la hora del día y potencia contratada.

- Plan Total Tranquilidad: Precio fijo mensual por kWh según potencia contratada (entre 0,16 €/kWh y 0,21 €/kWh)
- **Repsol:**
  - Tarifa Electricidad Doméstica Noche: 0,043 €/kWh (de 01:00h a 07:00h)
  - Tarifa Electricidad Doméstica Valle: 0,16 €/kWh (de 07:00h a 13:00h y de 23:00h a 01:00h)
  - Tarifa Electricidad Doméstica Punta: 0,23 €/kWh (de 13:00h a 23:00h)

Conocidos los costes de adquisición y de operación de los vehículos en la siguiente tabla se muestra una comparativa total del costo proyectado para recorrer 250.000 km y 400.000 km para los vehículos del estudio.

Para los vehículos eléctricos se ha asumido para el 85% de los kilómetros el precio de las tarifas eléctricas en el horario de recarga de 01:00 a 07:00 especificado ya que se asume una recarga inteligente en momentos de inactividad, ya según un estudio de the Boston Consulting Group, los vehículos permanecen aparcados el 95% de su vida útil. Pero para ser realistas el 15% restante de los kilómetros totales recorridos se ha calculado al precio medio de los puntos de recarga público con un coste de 0,4 €/kWh.

Es importante destacar que el consumo real de combustible y electricidad de los vehículos del estudio puede variar significativamente según diversos factores como el estilo de conducción, las condiciones de la carretera y la eficiencia del vehículo y se han realizado con los datos de consumo promedio proporcionados por el fabricante. Con esta información, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 23: Coste de operación Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Consumo	Tipo de combustible	€/km	€/km cargador	250.000 km	400.000 km
Mercedes-Benz c220d	4,8	Diesel	0,0792	-	19.800,00	31.680,00
Volkswagen Golf	5,9	Diesel	0,09735	-	24.337,50	38.940,00
Kia Sportage	6,4	Diesel	0,1056	-	26.400,00	42.240,00
Hyundai Tucson	6,7	Diesel	0,11055	-	27.637,50	44.220,00
Fiat Panda	5,5	Gasolina	0,093775	-	23.443,75	37.510,00
Renault Twingo	5,6	Gasolina	0,09548	-	23.870,00	38.192,00
Peugeot 208	5,8	Gasolina	0,09889	-	24.722,50	39.556,00
BMW X2	6,5	Gasolina	0,110825	-	27.706,25	44.330,00
BMW iX3	18,5	Eléctrico	0,00555	0,074	3.815,63	4.440,00
Renault Twingo Electric	18,2	Eléctrico	0,00546	0,0728	3.753,75	4.368,00
Audi Q4 e-tron	18,1	Eléctrico	0,00543	0,0724	3.733,13	4.344,00
Kia e-Niro	15,6	Eléctrico	0,00468	0,0624	3.217,50	3.744,00

<b>Tesla Model Y</b>	15	Eléctrico	0,0045	0,06	3.093,75	3.600,00
<b>Tesla Model 3</b>	14,9	Eléctrico	0,00447	0,0596	3.073,13	3.576,00
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	14,8	Eléctrico	0,00444	0,0592	3.052,50	3.552,00
<b>Peugeot e-208</b>	14,8	Eléctrico	0,00444	0,0592	3.052,50	3.552,00
<b>Volkswagen ID.3</b>	14,5	Eléctrico	0,00435	0,058	2.990,63	3.480,00
<b>BMW i3</b>	14,3	Eléctrico	0,00429	0,0572	2.949,38	3.432,00
<b>Fiat 500e</b>	14,3	Eléctrico	0,00429	0,0572	2.949,38	3.432,00
<b>Hyundai Kona Electric</b>	14,3	Eléctrico	0,00429	0,0572	2.949,38	3.432,00

Para hacer que sea más visual se van a implementar 2 graficas donde se representaran el costo €/km y el coste tanto en 200.000 como en 400.000:

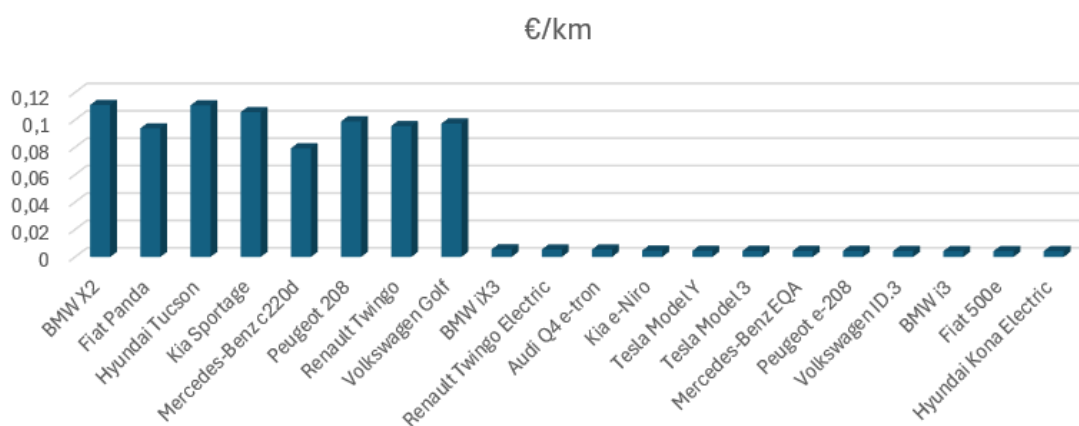


Ilustración 37: Representación €/km Fuente: Elaboración propia

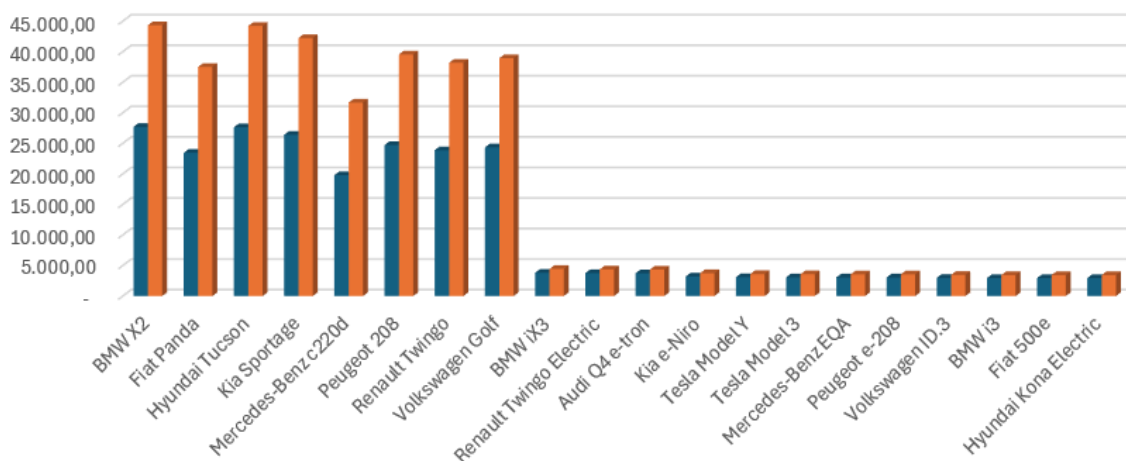


Ilustración 38: Representación € en 200.000 y 400.000 km Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en las gráficas anteriores el consumo de los vehículos eléctricos es muy inferior al de los vehículos de combustión, tanto gasolina como diésel, lo que junto al menor precio de la energía eléctrica se traduce en un coste muy inferior, llegando a ser hasta 20 veces inferior el precio por kilómetro.

Un factor muy importante para que esto ocurra es que la eficiencia de los motores eléctricos, que puede llegar a ser del 90%, frente a la del 30% de los motores de combustión interna.

## Costes de mantenimiento e instalación del cargador

### Cargador eléctrico

Para el uso del vehículo eléctrico hay que afrontar el precio de la instalación de recarga y sumarla al precio de adquisición del vehículo. Elk coste de esta infraestructura varía según los siguientes factores:

- **Tipo de cargador:** Los cargadores trifásicos son más caros que los monofásicos.
- **Potencia del cargador:** A mayor potencia, mayor precio.
- **Longitud del cableado:** Cuanto más largo sea el cableado, más costará la instalación.
- **Mano de obra:** Los precios de la mano de obra varían según la empresa instaladora y la zona geográfica.

En general, el coste de la instalación de un cargador de vehículo eléctrico en España sin subvenciones puede oscilar entre los 800€ y los 2.000€.

Sin embargo, el Plan MOVES III ofrece subvenciones para la instalación de cargadores de vehículo eléctrico, que pueden llegar a cubrir hasta el 80% del coste total de la instalación. El importe subvencionable del plan se puede observar en la siguiente tabla:

*Tabla 24: Importe que subvencionable para puntos de recarga Fuente: Idae*

Destinatarios últimos (Artículo 11.1)	Ayuda (%coste subvencionable)	
	Localización general	Municipios <5.000 hab.
Autónomos, particulares, Comunidades de Propietarios y administración sin actividad económica	70%	80%
Empresas y entes públicos con actividad económica, recarga acceso público y P ≥50kW	20% (40% Mediana empresa) (50% Pequeña empresa)	20% (40% Mediana empresa) (50% Pequeña empresa)
Empresas y entes públicos con actividad económica recarga	20% (30% PYME)	20% (40% PYME)

acceso privado o acceso público con P <50kW		
PYMES, que se acojan a minimis en el momento de hacer la solicitud, recarga acceso público y P ≥50kW	(45% Mediana empresa) (55% Pequeña empresa)	(50% Mediana empresa) (60% Pequeña empresa)

## Mantenimiento

El coste anual de mantenimiento de un vehículo depende de diversos factores, como el modelo, los hábitos de conducción y el taller donde se realizan las revisiones. Pero independientemente de estos factores en este apartado se han tenido en cuenta un valor promedio de los costes de mantenimiento que pueden tener los coches sometidos al estudios

- **Seguro:** Las primas de seguro no varían especialmente su valor si el vehículo es eléctrico o de combustión, sin embargo, el coste de estas es elevado debido al elevado valor de estos vehículos.
- **Mantenimiento preventivo:** Los vehículos eléctricos requieren menos mantenimiento preventivo que los de combustión, ya que al tener menos piezas móviles tienen menos problemas mecánicos y de desgaste.
- **Reparaciones:** Las reparaciones de los vehículos eléctricos suelen ser más costosas que las de los de combustión, ya que la tecnología es más compleja.
- **Desgaste prematuro:** El desgaste prematuro es inferior en los vehículos de combustión por el hecho comentado anteriormente de que el número de piezas móviles es inferior.
- **Cambio de neumáticos:** El cambio de neumáticos no depende del tipo de vehículo, sino del uso que se le da y del tipo de neumático.

Con todos estos aspectos, a continuación, se muestra una tabla promedio de los costes:

Tabla 25: Coste de Mantenimiento Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Seguro	Mantenimiento preventivo	Reparaciones	Desgaste prematuro	Cambio de neumáticos (cada 2 años)	Coste anual total
<b>Audi Q4 e-tron</b>	1.400€	1.100€	700€	420€	360€	4.080€
<b>BMW i3</b>	1.400€	1.100€	700€	420€	360€	4.080€
<b>BMW iX3</b>	1.300€	1.000€	650€	400€	360€	3.710€
<b>BMW X2</b>	1.200€	900€	600€	360€	360€	3.420€
<b>Fiat 500e</b>	600€	400€	250€	150€	180€	1.580€
<b>Fiat Panda</b>	600€	400€	300€	180€	180€	1.660€

Hyundai Kona Electric	1.200€	900€	600€	360€	360€	3.420€
Hyundai Tucson	950€	750€	475€	280€	270€	3.150€
Kia e-Niro	1.200€	900€	600€	360€	360€	3.420€
Kia Sportage	900€	700€	450€	275€	270€	3.045€
Mercedes-Benz c220d	1.000€	800€	500€	300€	300€	2.900€
Mercedes-Benz EQA	1.500€	1.200€	750€	450€	360€	4.260€
Peugeot 208	700€	500€	350€	210€	180€	2.240€
Peugeot e-208	600€	400€	250€	150€	180€	1.580€
Renault Twingo	650€	450€	325€	190€	180€	1.805€
Renault Twingo Electric	600€	400€	250€	150€	180€	1.580€
Tesla Model 3	1.400€	1.100€	700€	420€	360€	3.980€
Tesla Model Y	1.500€	1.200€	750€	450€	360€	4.260€
Volkswagen Golf	800€	600€	400€	250€	240€	2.290€
Volkswagen ID.3	1.300€	1.000€	650€	400€	360€	3.710€

## Impuestos

En cuanto al tema de impuestos la diferencia entre los vehículos de combustión y los eléctricos en España implica a considerar varios aspectos incluyendo impuestos y beneficios asociados a cada tipo de vehículo.

En la tabla a continuación se detalla una serie de aspectos clave de este ámbito y su aplicación para ambos tipos de vehículos:

Tabla 26: Impuestos sobre los vehículos Fuente: Elaboración propia

Tipo de Impuesto	Vehículo Eléctrico (VE)	Vehículo de Combustión (VC)
<b>Impuesto de Matriculación</b>	Exentos durante los primeros años de matriculación (varía según la comunidad autónoma).	Pago obligatorio según el tipo de vehículo y las emisiones de CO2.
<b>Impuesto de Circulación</b>	Bonificación del 75% durante los primeros años (4-6) de matriculación (varía según la comunidad autónoma).	Pago anual según la potencia fiscal del vehículo y la comunidad autónoma.
<b>Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI)</b>	Bonificación del 50% durante los primeros años de matriculación (en algunas comunidades autónomas).	Pago anual según el valor del vehículo.
<b>Declaración de la Renta</b>	Deducción del 40% del importe de la compra en la declaración de la renta (hasta un máximo de 2.500€).	No hay deducciones específicas por la compra de un VC.
<b>Peajes</b>	Acceso a peajes con descuento o gratuitos en algunas ciudades.	Pago de peajes sin distinción.
<b>Zonas de Bajas Emisiones</b>	Libre circulación en zonas restringidas a vehículos con altas emisiones.	Acceso restringido o con pago adicional en algunas zonas.
<b>Aparcamiento</b>	Tarifas reducidas o incluso gratuitas en algunas ciudades.	Pago de las mismas tarifas que los demás vehículos.

<b>Acceso a Carriles Bus</b>	Posibilidad de circular por carriles bus exclusivos en algunas ciudades.	No tienen acceso a estos beneficios específicos para VE.
<b>Prioridad en Semáforos</b>	En algunas intersecciones, pueden tener prioridad de paso.	No tienen acceso a estos beneficios específicos para VE.
<b>Exención de Restricciones de Circulación</b>	En caso de episodios de alta contaminación, pueden estar exentos de restricciones a la circulación.	No tienen acceso a estos beneficios específicos para VE.

Conocida la aplicación de estos factores para cada tipo de vehículos en la siguiente tabla se ha realizado una aproximación de costes teniendo en cuenta los beneficios comentados para los vehículos eléctricos:

Tabla 27: Coste de los impuestos sobre los vehículos Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Impuesto de Matriculación	Impuesto de Circulación	Impuesto de Circulación (25%)	Impuesto de Bienes Inmuebles (IBI)	Declaración de la Renta (Beneficio)
BMW X2	1.683 €	346 €	346 €	1.440 €	
Fiat Panda	480 €	124 €	124 €	720 €	
Hyundai Tucson	1.344 €	318 €	318 €	1.440 €	
Kia Sportage	1.008 €	270 €	270 €	1.440 €	
Mercedes-Benz c220d	4.800 €	351 €	351 €	2.160 €	
Peugeot 208	864 €	148 €	148 €	1.080 €	
Renault Twingo	672 €	117 €	117 €	720 €	
Volkswagen Golf	1.152 €	207 €	207 €	1.080 €	
BMW iX3	0 €	330 €	83 €	1.080 €	-2500
Renault Twingo Electric	0 €	122 €	31 €	720 €	-2500
Audi Q4 e-tron	0 €	330 €	83 €	1.080 €	-2500
Kia e-Niro	0 €	301 €	75 €	1.080 €	-2500
Tesla Model Y	0 €	474 €	119 €	2.520 €	-2500
Tesla Model 3	0 €	428 €	107 €	2.160 €	-2500
Mercedes-Benz EQA	0 €	330 €	83 €	1.080 €	-2500
Peugeot e-208	0 €	179 €	45 €	720 €	-2500
Volkswagen ID.3	0 €	270 €	68 €	1.080 €	-2500
BMW i3	0 €	225 €	56 €	1.080 €	-2500
Fiat 500e	0 €	109 €	27 €	720 €	-2500
Hyundai Kona Electric	0 €	301 €	75 €	1.080 €	-2500

## Valor residual

Como se ha comentado en los apartados anteriores es necesario tener en cuenta todo el ciclo de vida en su conjunto, para ello en este apartado se va a calcular el valor residual.

El valor residual de un vehículo es la cantidad de dinero que vale al final de su vida útil. Es un factor importante a tener en cuenta a la hora de adquirir un vehículo ya que afecta el costo total de propiedad.

En general, el valor de los vehículos eléctricos tiende a depreciarse más rápido que los vehículos de combustión en los primeros años. Esto se debe a la rápida evolución de la tecnología de baterías que hace que las anteriores se queden desfasada con rapidez y la incertidumbre en el mercado.

Se estima que la tasa de devaluación anual promedio para los vehículos eléctricos es de alrededor del 30%, mientras que para los vehículos de combustión es de alrededor del 15%.

Si implementamos estos datos a lo largo de la vida útil de un vehículo obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 28: Devaluación de los vehículos a lo largo de su vida útil Fuente: Elaboración propia

Año	Depreciación anual VC (15%)	Valor residual VC	Depreciación anual VE (30%)	Valor residual VE
1	15%	85%	30%	70%
5	75%	25%	150%	20%
9	135%	-10%	270%	-30%
13	195%	-40%	405%	-65%
17	255%	-65%	540%	-85%
20	315%	-85%	675%	-105%

Como se puede observar antes de llegar a la década ambos vehículos han perdido todo su valor.

Aunque el valor residual del vehículo se consideraría 0 al final de su vida útil el valor de mercado es diferente, ya que este se ve afectado por la oferta y la demanda, el cual se estima a continuación:

Tabla 29: Valor de mercado a lo largo de su vida útil Fuente: Elaboración propia

Años	Eléctrico	Combustión
4	55%	35%
8	70%	55%
12	80%	70%
16	88%	80%
20	94%	88%

Como se puede observar, aunque durante los primeros años la devaluación del vehículo eléctrico es más rápida a lo largo de su vida útil de va equiparando, llegando a los 20 años con un valor de mercado del 6% para los vehículos eléctricos y del 12% para los vehículos de combustión. Aunque dependiendo del modelo y las características se pueden encontrar casos excepcionales de coches que casi no se han devaluado en comparación a estos datos.

## Análisis del costo total de propiedad (TCO):

Con todos los costes y beneficios que se han ido recopilando a lo largo de este apartado, a continuación, se va a calcular el costo total de propiedad. El cálculo del Costo Total de Propiedad (Total Cost of Ownership, TCO) implica un análisis detallado de todos los gastos asociados a la disposición de un activo a lo largo de su ciclo de vida.

Definidos los factores a tener en cuenta para el cálculo del TCO el resultado para 20 años de uso con la realización de 250.000 y 400.000 km teniendo en cuenta si no aplica financiación al no ser eléctrico (NAF), si ha tenido financiación (SF), si ha tenido financiación, pero no ha habido achatarramiento (FSA) y si ha tenido financiación y achatarramiento (FA) es la siguiente:

Tabla 30: Cálculo del TCO Fuente: Elaboración propia

Vehículo y financiación	Precio base (€)	TCO 20 años y 250.000 km	€/km en 250.000	TCO 20 años y 400.000 km	€/km en 400.000
<b>BMW X2 NAF</b>	45.800,00	81.471,65	0,326	98.095,40	0,245
<b>Mercedes-Benz c220d NAF</b>	50.000,00	80.687,20	0,323	92.567,20	0,231
<b>BMW iX3 SF</b>	74.600,00	83.843,71	0,335	84.468,08	0,211
<b>Hyundai Tucson NAF</b>	30.725,00	66.539,70	0,266	83.122,20	0,208
<b>Kia Sportage NAF</b>	34.140,00	66.886,20	0,268	82.726,20	0,207
<b>BMW iX3 FSA</b>	70.100,00	77.943,71	0,312	78.568,08	0,196
<b>BMW iX3 FA</b>	67.600,00	75.443,71	0,302	76.068,08	0,190
<b>Volkswagen Golf NAF</b>	27.845,00	57.510,30	0,230	72.112,80	0,180
<b>Audi Q4 e-tron SF</b>	58.660,00	69.047,61	0,276	69.658,48	0,174
<b>Mercedes-Benz EQA SF</b>	57.000,00	67.086,58	0,268	67.586,08	0,169
<b>Renault Twingo NAF</b>	25.790,00	51.932,80	0,208	66.254,80	0,166
<b>Peugeot 208 NAF</b>	20.000,00	49.063,30	0,196	63.896,80	0,160
<b>Audi Q4 e-tron FSA</b>	54.160,00	63.147,61	0,253	63.758,48	0,159
<b>Mercedes-Benz EQA FSA</b>	52.500,00	61.186,58	0,245	61.686,08	0,154
<b>Audi Q4 e-tron FA</b>	51.660,00	60.647,61	0,243	61.258,48	0,153
<b>Tesla Model Y SF</b>	44.000,00	58.796,51	0,235	59.302,76	0,148
<b>Mercedes-Benz EQA FA</b>	50.000,00	58.686,58	0,235	59.186,08	0,148
<b>Fiat Panda NAF</b>	15.900,00	42.777,35	0,171	56.843,60	0,142
<b>Tesla Model 3 SF</b>	40.990,00	54.522,45	0,218	55.025,32	0,138
<b>Tesla Model Y FSA</b>	39.500,00	52.896,51	0,212	53.402,76	0,134
<b>BMW i3 SF</b>	43.200,00	51.947,14	0,208	52.429,76	0,131
<b>Tesla Model Y FA</b>	37.000,00	50.396,51	0,202	50.902,76	0,127

<b>Kia e-Niro SF</b>	38.700,00	48.719,98	0,195	49.246,48	0,123
<b>Tesla Model 3 FSA</b>	36.490,00	48.622,45	0,194	49.125,32	0,123
<b>Volkswagen ID.3 SF</b>	36.800,00	46.462,63	0,186	46.952,00	0,117
<b>Tesla Model 3 FA</b>	33.990,00	46.122,45	0,184	46.625,32	0,117
<b>BMW i3 FSA</b>	38.700,00	46.047,14	0,184	46.529,76	0,116
<b>Hyundai Kona Electric SF</b>	34.900,00	44.879,86	0,180	45.362,48	0,113
<b>BMW i3 FA</b>	36.200,00	43.547,14	0,174	44.029,76	0,110
<b>Kia e-Niro FSA</b>	34.200,00	42.819,98	0,171	43.346,48	0,108
<b>Peugeot e-208 SF</b>	35.000,00	41.098,90	0,164	41.598,40	0,104
<b>Volkswagen ID.3 FSA</b>	32.300,00	40.562,63	0,162	41.052,00	0,103
<b>Kia e-Niro FA</b>	31.700,00	40.319,98	0,161	40.846,48	0,102
<b>Hyundai Kona Electric FSA</b>	30.400,00	38.979,86	0,156	39.462,48	0,099
<b>Volkswagen ID.3 FA</b>	29.800,00	38.062,63	0,152	38.552,00	0,096
<b>Hyundai Kona Electric FA</b>	27.900,00	36.479,86	0,146	36.962,48	0,092
<b>Peugeot e-208 FSA</b>	30.500,00	35.198,90	0,141	35.698,40	0,089
<b>Fiat 500e SF</b>	29.500,00	34.562,14	0,138	35.044,76	0,088
<b>Peugeot e-208 FA</b>	28.000,00	32.698,90	0,131	33.198,40	0,083
<b>Renault Twingo Electric SF</b>	26.000,00	32.236,83	0,129	32.851,08	0,082
<b>Fiat 500e FSA</b>	25.000,00	28.662,14	0,115	29.144,76	0,073
<b>Renault Twingo Electric FSA</b>	21.500,00	26.336,83	0,105	26.951,08	0,067
<b>Fiat 500e FA</b>	22.500,00	26.162,14	0,105	26.644,76	0,067
<b>Renault Twingo Electric FA</b>	19.000,00	23.836,83	0,095	24.451,08	0,061

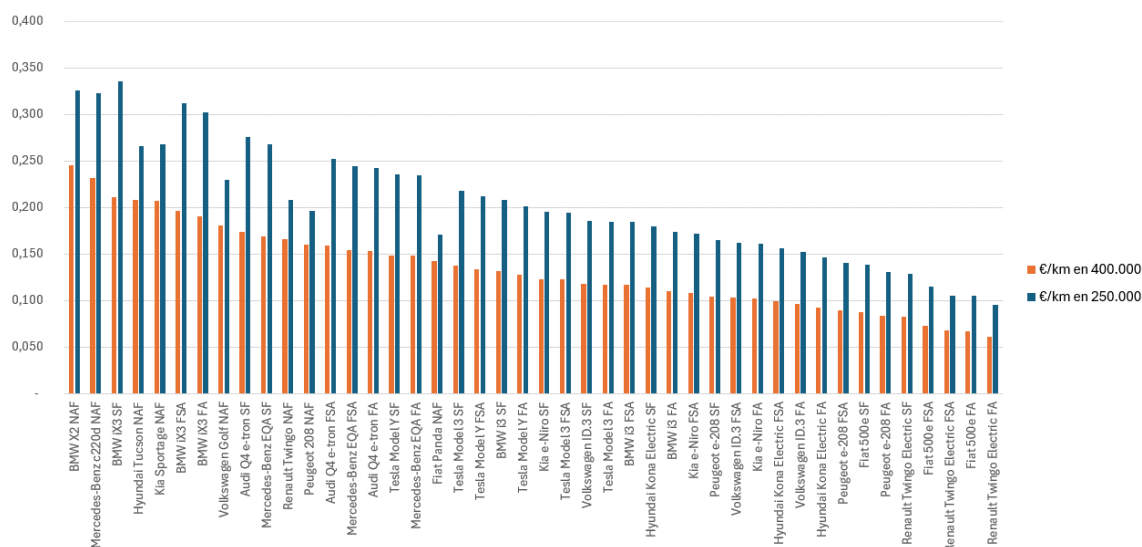


Ilustración 39: €/km del TCO para 250.000 km y 400.000 km Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar tanto en la tabla como en la gráfica anterior, los vehículos eléctricos tienen un TCO más bajo que los vehículos de combustión, cuya distancia va incrementando a medida que incrementas los kilómetros recorridos para el estudio.

En la lista global de 44 vehículos, considerando su tipo de financiación, el primer vehículo eléctrico que aparece es el BMW iX3 sin financiación, con un precio de 74.600 € en el tercer lugar. El siguiente vehículo en la lista es el Hyundai Tucson, con un valor prácticamente igual en términos de €/km para 400.000 km, y un precio de 30.725 €, siendo 43.875 € más barato que el BMW.

Si consideramos la financiación sin achatarramiento, el primer coche que aparece es el BMW iX3 en el puesto 6, con un precio de 70.100 € y un TCO por kilómetro de 0,196 €.

Siguiendo con las comparaciones, un BMW i3 sin financiación tiene un consumo 0,029 €/km inferior al Peugeot 208 y 0,011 €/km inferior al Fiat Panda, con costes de 43.200 €, 20.000 € y 15.900 €, respectivamente.

Por lo tanto, económicamente, la mejor elección es un vehículo eléctrico. Además, si consideramos que la comparativa entre vehículos generalmente se realiza con un presupuesto tope, la rentabilidad de los vehículos eléctricos frente a los de combustión es claramente superior. Esto se evidencia al comparar el Volkswagen Golf y el Peugeot e-208 con financiación y achatarramiento, donde el precio de compra del vehículo eléctrico es 125 € inferior, pero su TCO es 0,097 €/km inferior, resultando en un ahorro total de 38.914,4 €.

Además, se ha estudiado el porcentaje que se reduce el coste por kilómetro con el aumento de kilómetros recorridos y los resultados son los siguientes:

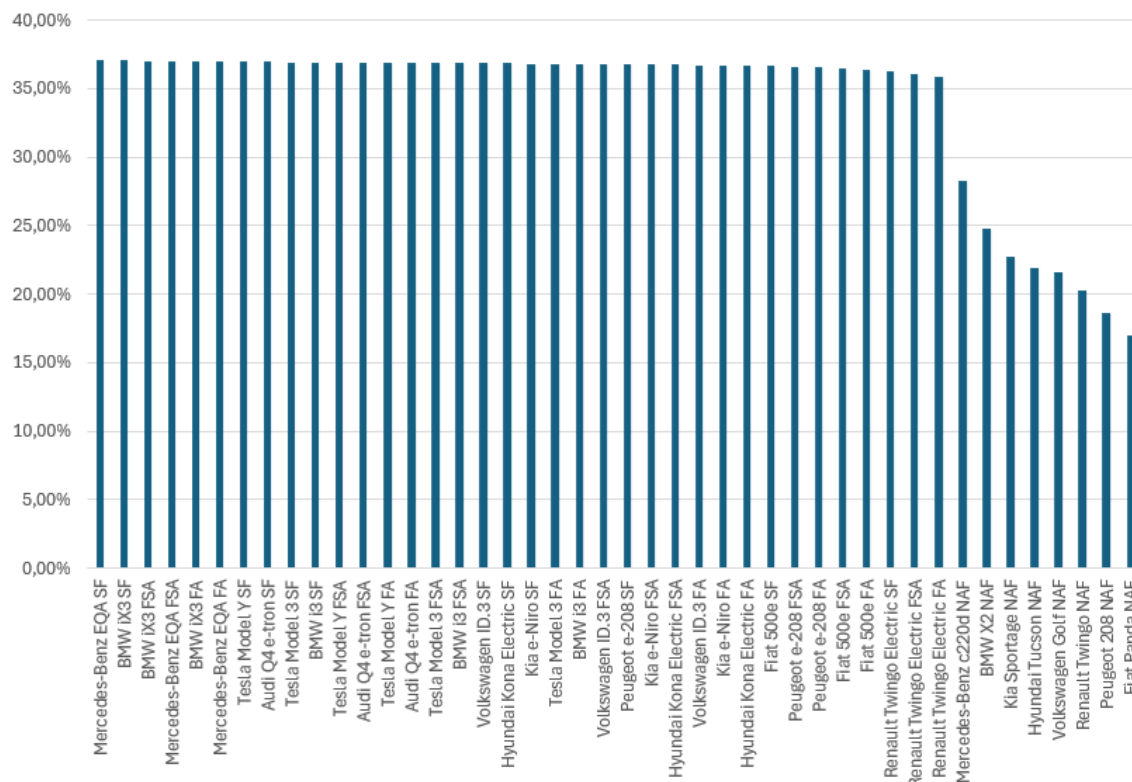


Ilustración 40: Diferencia de 250000 km a 400000 km Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Diferencia de 250000 km a 400000 km Fuente: Elaboración propia

<b>Vehículo y financiación</b>	<b>Tipo de combustible</b>	<b>Diferencia de 250000 km a 400000 km</b>
<b>Mercedes-Benz EQA SF</b>	Eléctrico	37,03%
<b>BMW iX3 SF</b>	Eléctrico	37,03%
<b>BMW iX3 FSA</b>	Eléctrico	37,00%
<b>Mercedes-Benz EQA FSA</b>	Eléctrico	36,99%
<b>BMW iX3 FA</b>	Eléctrico	36,98%
<b>Mercedes-Benz EQA FA</b>	Eléctrico	36,97%
<b>Tesla Model Y SF</b>	Eléctrico	36,96%
<b>Audi Q4 e-tron SF</b>	Eléctrico	36,95%
<b>Tesla Model 3 SF</b>	Eléctrico	36,92%
<b>BMW i3 SF</b>	Eléctrico	36,92%
<b>Tesla Model Y FSA</b>	Eléctrico	36,90%
<b>Audi Q4 e-tron FSA</b>	Eléctrico	36,90%
<b>Tesla Model Y FA</b>	Eléctrico	36,87%
<b>Audi Q4 e-tron FA</b>	Eléctrico	36,87%
<b>Tesla Model 3 FSA</b>	Eléctrico	36,85%
<b>BMW i3 FSA</b>	Eléctrico	36,84%
<b>Volkswagen ID.3 SF</b>	Eléctrico	36,84%
<b>Hyundai Kona Electric SF</b>	Eléctrico	36,83%
<b>Kia e-Niro SF</b>	Eléctrico	36,82%
<b>Tesla Model 3 FA</b>	Eléctrico	36,82%
<b>BMW i3 FA</b>	Eléctrico	36,81%
<b>Volkswagen ID.3 FSA</b>	Eléctrico	36,75%
<b>Peugeot e-208 SF</b>	Eléctrico	36,74%
<b>Kia e-Niro FSA</b>	Eléctrico	36,73%
<b>Hyundai Kona Electric FSA</b>	Eléctrico	36,73%
<b>Volkswagen ID.3 FA</b>	Eléctrico	36,70%
<b>Kia e-Niro FA</b>	Eléctrico	36,68%
<b>Hyundai Kona Electric FA</b>	Eléctrico	36,67%
<b>Fiat 500e SF</b>	Eléctrico	36,63%
<b>Peugeot e-208 FSA</b>	Eléctrico	36,61%
<b>Peugeot e-208 FA</b>	Eléctrico	36,55%
<b>Fiat 500e FSA</b>	Eléctrico	36,45%
<b>Fiat 500e FA</b>	Eléctrico	36,35%
<b>Renault Twingo Electric SF</b>	Eléctrico	36,31%
<b>Renault Twingo Electric FSA</b>	Eléctrico	36,04%
<b>Renault Twingo Electric FA</b>	Eléctrico	35,89%
<b>Mercedes-Benz c220d NAF</b>	Diesel	28,30%
<b>BMW X2 NAF</b>	Gasolina	24,75%
<b>Kia Sportage NAF</b>	Diesel	22,70%
<b>Hyundai Tucson NAF</b>	Diesel	21,92%
<b>Volkswagen Golf NAF</b>	Diesel	21,63%
<b>Renault Twingo NAF</b>	Gasolina	20,26%
<b>Peugeot 208 NAF</b>	Gasolina	18,60%

<b>Fiat Panda NAF</b>	Gasolina	16,95%
-----------------------	----------	--------

En base a la tabla proporcionada, se observa una clara tendencia, el ahorro en el coste por kilómetro recorrido aumenta a medida que se incrementa el kilometraje total, como se ha comentado anteriormente.

Los vehículos eléctricos presentan una reducción en el coste €/km que oscila entre el 35% y el 37% al pasar de 250.000 a 400.000 km. En el caso de los coches de combustión, la reducción del coste €/km es menor, oscilando entre el 17% y el 28%.

Lo que demuestra que un coche eléctrico es la opción más económica y sostenible a largo plazo.

## Anexo III: Evaluación del impacto ambiental

Una vez realizado el análisis económico el siguiente paso es realizar el estudio del impacto ambiental del vehículo eléctrico. Para ello se analizarán las emisiones de CO<sub>2</sub> de todas las etapas de su ciclo de vida de los vehículos de combustión interna y eléctricos.

### Impacto ambiental en la producción del vehículo

Como en el análisis económico, para el impacto ambiental se analizarán las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas durante la fase de producción. Para este estudio se ha dividido el vehículo en 4 elementos principales.

#### Chasis

Para el estudio se ha considerado que este componente de los vehículos de combustión interna de gasolina (GE), Diesel (DE) y eléctricos (BEV) son idénticas. Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de estas partes, se utilizó la base de datos de la Sociedad de Evaluación del Ciclo de Vida de Japón (JLCA).

Según dicho estudio, el inventario de CO<sub>2</sub> desde la extracción de materiales hasta la fabricación del vehículo es de 5494 kg-CO<sub>2</sub>. El chasis representa el 76.8% del peso total del vehículo, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al chasis son 4219 kg-CO<sub>2</sub> (5494 kg-CO<sub>2</sub> \* 0.768).

#### Motor y transmisión para GE y DE

El siguiente componente a estudio es el motor y la transmisión de los vehículos de gasolina estimándose en 1.274 kg-CO<sub>2</sub>. Este valor se ha obtenido restando las emisiones de las partes del chasis (4219 kg-CO<sub>2</sub>) al total de emisiones del vehículo de gasolina (5494 kg-CO<sub>2</sub>).

Para los vehículos diésel no se ha asumido el mismo valor ya que el peso del motor y la transmisión de los vehículos Diesel es de 50 kg superior, por lo que se ha calculado de la siguiente manera:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ motor y transmisión DE} = \text{Emisiones CO}_2 \text{ motor y transmisión GE} * \frac{(\text{Peso motor y transmisión GE} + \text{Diferencia peso GE-DE})}{\text{Peso motor y transmisión GE}}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ motor y transmisión DE} = 1274 \text{ kg} - \text{CO}_2 * \frac{(241 \text{ kg} + 50 \text{ kg})}{241 \text{ kg}} = 1539 \text{ kg} - \text{CO}_2$$

#### Motor e inversor del vehículo eléctrico

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción del motor y el inversor para el BEV se estimó en 1070 kg-CO<sub>2</sub> y 641 kg-CO<sub>2</sub> según el estudio realizado por Hawkins, Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles.

## Batería del vehículo eléctrico

Para conocer la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> se han tenido en cuenta diversos estudios que consideraban la extracción de materias primas hasta la producción del sistema de batería teniendo en cuenta los diferentes procesos de fabricación y los tipos de cátodos: óxido de litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC) y fosfato de hierro y litio (LFP).

Los resultados del factor de emisión de CO<sub>2</sub> son:

- Promedio: 177 kg-CO<sub>2</sub>-eq/kWh
- Valor más bajo: 121 kg-CO<sub>2</sub>-eq/kWh
- Valor más alto: 250 kg-CO<sub>2</sub>-eq/kWh

## Emisiones totales en fase de producción

En la siguiente tabla se agrupan las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la fabricación de vehículos de gasolina (GE), diésel (DE) y eléctricos a batería (BEV), teniendo en cuenta los 4 componentes principales comentados anteriormente.

Tabla 32: Cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en la fase de producción Fuente: JLCA

Part Name	Reference	Referenced Data of CO <sub>2</sub> Emission [kg-CO <sub>2</sub> ]	Apply to
Chassis parts (Body, tires, interior, etc.)	JLCA [27]	4219 (76.8 % of overall production)	GE, DE, BEV
Gasoline engine and transmission	JLCA [27]	1274 (23.2 % of overall production)	GE
Diesel engine and transmission	JLCA [27] modified	1539 (20.8% higher than the gasoline engine)	DE
Electric drive unit parts (Elec. parts)	Li-ion battery CO <sub>2</sub> factor: Average of Table 3 Capacity: Table 2	6337 (177 kg-CO <sub>2</sub> /kWh × 35.8 kWh)	BEV
	Motor Hawkins et al. [28]	1070	BEV
	Inverter Hawkins et al. [28]	641	BEV

Conocidos estos datos obtenidos del estudio de la JLCA, para realizar el análisis del impacto ambiental se realizará una extrapolación y se amoldaran a las características de los coches del estudio.

Tabla 33: Relación de kg CO<sub>2</sub> por punto estudiado Fuente: Elaboración propia

Tipo	Peso (kg)	kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /kg vehículo	Potencia motor (kW)	kg CO <sub>2</sub> Motor	kg CO <sub>2</sub> /kW Motor
Eléctrico	1.590	5.494	3,46	101	1.711	16,94
Diesel	1.360	5.494	4,04	77	1.539	19,99
Gasolina	1.310	5.494	4,19	100	1.274	12,74

Considerando estos valores, el resultado del impacto ambiental total en kg de CO<sub>2</sub> durante el proceso de fabricación, ordenado de mayor a menor, es el siguiente:

Tabla 34: Desglose de los kg de CO2 durante la fabricación Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Tipo	Peso (kg)	Chasis (kg CO2)	kg CO2/kW Motor	Batería (kg CO2)	kg CO2 Fabricación
Audi Q4 e-tron	Eléctrico	2.125	5.639,12	3.726,93	14.514	23.880,06
Tesla Model Y	Eléctrico	1.932	5.126,96	4.845,01	13.275	23.246,97
Tesla Model 3	Eléctrico	1.624	4.309,62	4.404,55	13.275	21.989,17
BMW iX3	Eléctrico	2.175	5.771,81	3.608,35	12.390	21.770,16
Mercedes-Benz EQA	Eléctrico	1.735	4.604,18	2.371,68	11.682	18.657,86
Kia e-Niro	Eléctrico	1.759	4.667,87	2.541,09	11.328	18.536,96
Hyundai Kona Electric	Eléctrico	1.685	4.471,49	2.541,09	11.328	18.340,58
Volkswagen ID.3	Eléctrico	1.769	4.694,41	2.541,09	10.266	17.501,49
Peugeot e-208	Eléctrico	1.343	3.563,93	1.694,06	8.850	14.107,99
BMW i3	Eléctrico	1.247	3.309,17	2.117,57	7.434	12.860,75
Fiat 500e	Eléctrico	1.232	3.269,37	1.185,84	4.248	8.703,21
Renault Twingo Electric	Eléctrico	1.180	3.131,37	1.016,44	3.894	8.041,81
Mercedes-Benz c220d	Diesel	1.640	5.088,09	2.898,12	-	7.986,21
Kia Sportage	Diesel	1.660	5.150,14	2.598,31	-	7.748,45
Hyundai Tucson	Diesel	1.650	5.119,12	2.598,31	-	7.717,43
BMW X2	Gasolina	1.525	4.911,89	1.809,08	-	6.720,97
Volkswagen Golf	Diesel	1.303	4.042,55	1.918,75	-	5.961,30
Peugeot 208	Gasolina	1.080	3.478,58	955,50	-	4.434,08
Renault Twingo	Gasolina	950	3.059,86	891,80	-	3.951,66
Fiat Panda	Gasolina	980	3.156,49	649,74	-	3.806,23

Como se puede observar todos los vehículos eléctricos que tienen un impacto ambiental superior durante su fabricación son eléctricos.

## Impacto ambiental en el uso y mantenimiento

Una vez analizada la etapa de fabricación, el siguiente paso del análisis es conocer y analizar las emisiones de CO2 durante su vida útil teniendo en cuenta su consumo y respectivos mantenimientos.

Se comienza calculando las emisiones de CO2 durante su uso, para ello, basándonos en el estudio anteriormente comentado se van a calcular las emisiones en base a la siguiente fórmula:

La cantidad de emisiones de CO2 en la fase de generación de energía eléctrica para los vehículos de combustión se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$CO_{2 \text{ Combustión}} = \frac{CF_{FP} + CF_{FC}}{EICV} * LD$$

Donde:

- $CO_{2\text{ Combustión}}$ , la cantidad de emisiones de CO2 en la fase de producción y combustión de combustible [kg-CO2].
- CFFP = factor de emisión de CO2 de la producción de combustible [kg-CO2/L]
- CFFC = factor de emisión de CO2 de la combustión de combustible [kg-CO2/L]
- EICV = eficiencia de combustible de los vehículos de combustión [km/L]
- LD = distancia de conducción durante la vida útil [km].

La cantidad de emisiones de CO2 en la fase de generación de energía eléctrica para BEV se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$CO_{2\text{ VE}} = \frac{CFEG}{EBEV} * LD$$

Donde:

- $CO_{2\text{ VE}}$ , la cantidad de emisiones de CO2 en la fase de generación de energía eléctrica [kg-CO2]
- CFEG = factor de emisión de CO2 de la generación de energía eléctrica [kg-CO2/kWh]
- EBEV = eficiencia eléctrica del BEV [km/kWh]

Los datos utilizados para el estudio para 250.000 km y 400.000 km son los siguientes:

Tabla 35: Factores de emisión Fuente: Elaboración propia

	Gasolina (kg-CO2/L)	Diésel (kg-CO2/L)	Factor de emisión de CO2 (kg-CO2/kWh)
<b>CFFP</b>	0,82	0,94	-
<b>CFFC</b>	2,28	2,62	-
<b>CFEG</b>	-	-	0,34

Los resultados del consumo a lo largo de la vida del vehículo son los siguientes:

Tabla 36: Emisiones de CO2 derivados del consumo Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Tipo de combustible	Consumo (l/100 km o kWh/100 km)	Consumo Uso 250.000 km kg CO2	Consumo Uso 400.000 km kg CO2
<b>Audi Q4 e-tron</b>	Eléctrico	18,1	15.385	24.616
<b>Tesla Model Y</b>	Eléctrico	15	12.750	20.400
<b>Tesla Model 3</b>	Eléctrico	14,9	12.665	20.264
<b>BMW iX3</b>	Eléctrico	18,5	15.725	25.160
<b>Mercedes-Benz EQA</b>	Eléctrico	14,8	12.580	20.128

Kia e-Niro	Eléctrico	15,6	13.260	21.216
Hyundai Kona Electric	Eléctrico	14,3	12.155	19.448
Volkswagen ID.3	Eléctrico	14,5	12.325	19.720
Peugeot e-208	Eléctrico	14,8	12.580	20.128
BMW i3	Eléctrico	14,3	12.155	19.448
Fiat 500e	Eléctrico	14,3	12.155	19.448
Renault Twingo Electric	Eléctrico	18,2	15.470	24.752
Mercedes-Benz c220d	Diesel	4,8	42.720	68.352
Kia Sportage	Diesel	6,4	56.960	91.136
Hyundai Tucson	Diesel	6,7	59.630	95.408
BMW X2	Gasolina	6,5	50.375	80.600
Volkswagen Golf	Diesel	5,9	52.510	84.016
Peugeot 208	Gasolina	5,8	44.950	71.920
Renault Twingo	Gasolina	5,6	43.400	69.440
Fiat Panda	Gasolina	5,5	42.625	68.200

A estos datos, se deben añadir las emisiones derivadas del mantenimiento del vehículo, que incluyen elementos como los neumáticos, aceites, líquidos refrigerantes y baterías de ácido sólido o de ion-litio.

Tabla 37: Emisiones de CO2 derivadas del mantenimiento Fuente: Elaboración propia

Tipo de mantenimiento	Aplicación	km/Mantenimiento	kg-CO2/Mantenimiento	kg-CO2 250.000 km	kg-CO2 400.000 km
Neumático	GE DE BEV	40.000,00	108,00	675,00	1.080,00
Batería de ácido sólido	GE DE BEV	50.000,00	19,50	97,50	156,00
Aceite de motor	GE DE	10.000,00	3,22	80,50	128,80
Líquido de radiador	GE DE	27.000,00	7,03	65,09	104,15
Batería Ion litio	BEV	160.000,00	6.337,00	9.901,56	15.842,50

Lo que nos da unas emisiones de CO2 durante el mantenimiento de:

Tabla 38: Emisiones de CO2 derivadas del mantenimiento por tipo de vehículo Fuente: Elaboración propia

Tipo	kg CO2 Mantenimiento 250.000 km	kg CO2 Mantenimiento 400.000 km
Eléctrico	10.674	17.079
Combustión	918	1.469

## Análisis del impacto medioambiental a lo largo del ciclo de vida

Una vez recopilados los datos de emisiones generadas diferenciando entre fabricación y mantenimiento el siguiente paso es unificar estos valores para obtener el impacto ambiental total durante su vida útil. Los resultados son los siguientes:

Tabla 39: Desglose de emisiones de CO2 durante la vida útil del vehículo Fuente: Elaboración propia

Vehículo	Tipo de combustible	kg CO2 250.000 km	kg CO2 400.000 km	kg CO2/km 250.000 km	kg CO2/km 400.000 km	Diferencia de 250000 km a 400000 km
Hyundai Tucson	Diesel	68.266	104.594	0,273	0,261	4,24%
Kia Sportage	Diesel	65.627	100.353	0,263	0,251	4,43%
Volkswagen Golf	Diesel	59.389	91.446	0,238	0,229	3,76%
BMW X2	Gasolina	58.014	88.790	0,232	0,222	4,34%
Peugeot 208	Gasolina	50.302	77.823	0,201	0,195	3,31%
Mercedes-Benz c220d	Diesel	51.624	77.807	0,206	0,195	5,80%
Renault Twingo	Gasolina	48.270	74.861	0,193	0,187	3,07%
Fiat Panda	Gasolina	47.349	73.475	0,189	0,184	3,01%
Audi Q4 e-tron	Eléctrico	49.939	65.575	0,200	0,164	17,93%
BMW iX3	Eléctrico	48.169	64.009	0,193	0,160	16,95%
Tesla Model Y	Eléctrico	46.671	60.725	0,187	0,152	18,68%
Tesla Model 3	Eléctrico	45.328	59.332	0,181	0,148	18,19%
Kia e-Niro	Eléctrico	42.471	56.831	0,170	0,142	16,37%
Mercedes-Benz EQA	Eléctrico	41.912	55.864	0,168	0,140	16,69%
Hyundai Kona Electric	Eléctrico	41.170	54.867	0,165	0,137	16,71%
Volkswagen ID.3	Eléctrico	40.501	54.300	0,162	0,136	16,20%
Peugeot e-208	Eléctrico	37.362	51.314	0,149	0,128	14,16%
Renault Twingo Electric	Eléctrico	34.186	49.872	0,137	0,125	8,82%
BMW i3	Eléctrico	35.690	49.387	0,143	0,123	13,51%
Fiat 500e	Eléctrico	31.532	45.230	0,126	0,113	10,35%

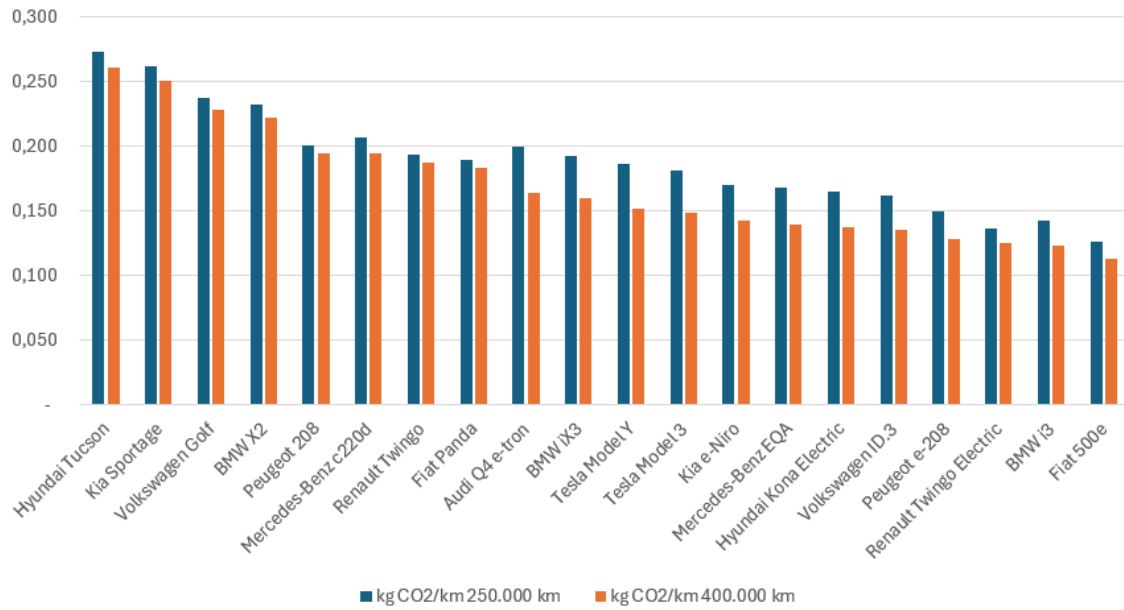


Ilustración 41: Emisiones de CO2 durante la vida útil del vehículo Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla y grafica anterior, los vehículos eléctricos presentan las menores emisiones de CO2 por kilómetro recorrido, seguidos de los vehículos de gasolina y, en último lugar, los de diésel.

Al comparar un vehículo eléctrico con uno de combustión, el ahorro de CO2 aumenta significativamente a medida que se incrementa el kilometraje. Para un recorrido de 400.000 km, el ahorro de CO2 de un vehículo eléctrico varía entre el 8% y 18% en comparación con un vehículo de gasolina que únicamente varía entre el 3% y 4%

Por ejemplo, un Tesla Model 3 durante 400.000 km emite 16.328 kg de CO2 menos que un Hyundai Tucson diésel, 15.344 kg de CO2 menos que un Kia Sportage diésel y 12.057 kg de CO2 menos que un Volkswagen Golf diésel.

## Anexo IV: Revisión de políticas públicas

Durante este apartado se van a detallar las normas que afecta directamente al vehículo eléctrico en distintos ámbitos de aplicación.

### Marco legal y estratégico

#### a. Leyes:

##### **Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética**

Esta ley tiene como objetivo implantar para España los objetivos adquiridos en el Acuerdo de París con el fin de crear una base sólida para la transición hacia un mundo más sostenible.

Esta ley establece metas específicas para cumplir los objetivos. Para ello establece 2 pilares fundamentales:

- Se deben reducir las emisiones de gases contaminantes con respecto a los datos de 1990 al menos un 23% para el año 2030 y continuar reduciéndolas hasta alcanzar la neutralidad de emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2050.
- Al menos el 42% de la energía final consumida para el año 2030 debe de ser renovable.

Para conseguir estos objetivos utiliza el vehículo eléctrico como principal actor, marcándose las siguientes medidas:

- Lograr que para el año 2050 todos los vehículos sean de cero emisiones.
- Obligación de instalación de infraestructuras de recarga en puntos de servicio cuyas ventas de gasolina y Diesel supere los 5 millones de litros.
- A partir del 1 de enero de 2023 todos los edificios de uso distinto al residencial privado y que cuenten con aparcamiento de más de 20 plazas deberán contar con la infraestructura de recarga mínima establecida en el Código técnico de edificación.
- Restricción de acceso a vehículos que no sean de 0 emisiones por determinadas zonas de las ciudades.
- Subvenciones e incentivos.

##### **Real Decreto 960/2020, de 3 de noviembre, por el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica.**

Con la aprobación de este Real Decreto se crea el pilar fundamental de las Energías renovables en España, ya que en él se establece el Régimen Económico de Energías Renovables, lo que ha provocado:

- Impulso a las energías renovables proporcionándoles un marco regulatorio estable que genera un mayor atractivo para la inversión en el sector.

- La integración de las energías renovables en el sistema eléctrico traerá consigo un empujón a la descarbonización de la economía y a luchar contra el cambio climático.
- Reducción de la dependencia Española hacia combustibles fósiles importados de otros países.

Esta medida no afecta directamente al vehículo eléctrico, si no que afecta directamente a las energías renovables, pero como se ha comentado anteriormente ambos deben de ir de la mano para su integración a gran escala.

### **Estrategia Española de Electromovilidad 2021-2025.**

Es una estrategia aprobada en marzo del 2021 con la que el gobierno de España traza un plan integral para la adopción del vehículo eléctrico como medio de transporte mayoritario para el año 2050.

La estrategia tiene cinco pilares fundamentales:

- Despliegue masivo de vehículos eléctricos:
  - Objetivos de alcanzar 5 millones de vehículos eléctricos en circulación para 2030 y 25 millones para 2050.
  - Medidas de incentivo como subvenciones directas y beneficios fiscales.
  - Fomento de la renovación del parque de vehículos con modelos más eficientes y sostenibles.
- Desarrollo de una infraestructura de recarga robusta:
  - Instalación de 80.000 puntos de recarga para 2030, incluyendo públicos, privados y en empresas.
  - Garantía de distribución geográfica de la infraestructura en todo el territorio nacional.
  - Promoción de puntos de recarga rápida para facilitar los viajes largos.
- Impulso a la industria española de vehículo eléctrico:
  - Apoyo a la investigación, desarrollo e innovación en tecnologías de vehículo eléctrico.
  - Fomento de la creación de empresas y empleos en el sector de la electromovilidad.
  - Posicionamiento de España como referente internacional en la fabricación de componentes de vehículos eléctricos.
- Gobernanza y coordinación efectiva:
  - Estructura de gobernanza sólida para la implementación de la estrategia.
  - Colaboración entre actores públicos y privados.
  - Seguimiento y evaluación continua de la estrategia
- Sensibilización y formación:
  - Campañas de sensibilización para informar a la población sobre los beneficios del vehículo eléctrico.
  - Formación a profesionales del sector para ofrecer asesoramiento adecuado a los consumidores.

- Abordaje de la ansiedad por la autonomía y promoción de prácticas de carga responsables.

Una vez aplicadas estas medidas de la Estrategia Española de Electromovilidad 2021-2025 los efectos esperados son los siguientes:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejora de la calidad del aire: La disminución de emisiones contaminantes beneficiará la salud pública y el medio ambiente.
- Impulso a la economía española: La industria de la electromovilidad generará nuevos empleos y crecimiento económico.
- Reducción de la dependencia energética: La adopción de vehículos eléctricos disminuirá la dependencia de combustibles fósiles importados.
- Avance hacia un futuro más sostenible: La electromovilidad es clave para la transición hacia un modelo energético más limpio y sostenible.

## Incentivos y beneficios fiscales

Junto a estas leyes y decretos aprobados por el gobierno español se han activado una serie de incentivos en forma de subvenciones o beneficios fiscales para potenciar la transición.

En este apartado se va a realizar un breve resumen de estas medidas, ya que ya se han comentado anteriormente, y su correlación con la legislación que las respalda.

### **Real Decreto 266/2021, de 13 de abril, por el que se aprueba la concesión directa de ayudas a las comunidades autónomas y a las ciudades de Ceuta y Melilla para la ejecución de programas de incentivos ligados a la movilidad eléctrica (MOVES III)**

Este Real Decreto es en el que se da forma al conocido Plan Moves III, es una iniciativa crucial del gobierno español para fomentar la adopción de vehículos de eléctricos y el desarrollo de la infraestructura de recarga.

El objetivo principal del Plan Moves III es acelerar la transición hacia un sistema de transporte más sostenible mediante la aprobación de una serie de ayudas que faciliten económicamente la adquisición de los vehículos eléctricos España.

El Plan Moves III implementa una serie de medidas concretas para alcanzar sus objetivos, incluyendo:

- **Ayudas directas a la compra de VE:** Subvenciones de entre 4.500€ a 7.000€ para la adquisición de vehículos eléctricos.
- **Incentivos para la instalación de puntos de recarga:** Subvenciones de hasta el 80% del coste de instalación de puntos de recarga en hogares, empresas y entidades locales.
  - Requisitos mínimos de instalación para garantizar la compatibilidad
- **Sensibilización y formación:**

- Campañas dirigidas a ciudadanos, empresas y administraciones públicas para fomentar el conocimiento y la adopción del vehículo eléctrico.
- Abordaje de la ansiedad por la autonomía y promoción de prácticas de carga responsables.
- Capacitación a profesionales del sector para brindar asesoramiento adecuado a los consumidores interesados en vehículos eléctricos.

Se espera que la implementación del Plan Moves III tenga un impacto positivo significativo en la adopción de vehículo eléctrico E en España, incluyendo:

- Aumento en el número de vehículo eléctrico en circulación, contribuyendo a la descarbonización del sector transporte.
- Expansión de la infraestructura de recarga del vehículo eléctrico.
- Renovación del parque de vehículos con modelos más eficientes y sostenibles.
- Mayor conocimiento y aceptación del vehículo eléctrico entre la población, empresas y administraciones públicas.
- Impulso a la economía española y creación de nuevos empleos en sectores relacionados con el vehículo eléctrico.

**Deducción del Impuesto sobre la Renta por la adquisición de vehículos eléctricos:** Los compradores de vehículo eléctrico pueden deducir hasta el 40% del coste de adquisición del vehículo en su declaración de la Renta hasta un valor máximo de 2.500€. (Ley 35/2006, de 29 de noviembre)

**Exención del Impuesto de Matriculación:** Los vehículos eléctricos están exentos del pago del Impuesto de Matriculación, lo que supone un ahorro significativo para los usuarios. (Ley 38/1992, de 29 de diciembre)

**Bonificaciones en el Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica (IVTM):** Algunas comunidades ofrecen bonificaciones en el IVTM para los propietarios de vehículos eléctricos, lo que reduce la tasa anual que deben pagar. (Ley Reguladora de las Haciendas Locales, Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo)

**Otras medidas:**

**Permiso de circulación gratuito o bonificado para vehículos eléctricos:** Algunos municipios ofrecen permisos de circulación gratuitos o con bonificaciones para los vehículos eléctricos durante los primeros años de circulación. (Ordenanzas municipales locales)

**Acceso a zonas de bajas emisiones y estacionamiento gratuito:** Los vehículos eléctricos tienen acceso a las zonas de bajas emisiones (ZBE) de las ciudades españolas, donde los vehículos con combustión interna están restringidos o prohibidos. Además, en muchas ciudades pueden aparcar de forma gratuita en zonas específicas. (Ordenanzas municipales locales)

## Infraestructura de recarga

### Hoja de Ruta para el Despliegue de Infraestructura de Recarga de Vehículos Eléctricos en España.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, presento este plan que tiene como objetivo principal alcanzar una red de recarga completa y accesible en todo el territorio nacional para el año 2030. Para conseguirlo, se han establecido una serie de metas:

- Llegar a los 98.000 puntos de recarga de acceso público, lo que representa un crecimiento significativo de la infraestructura de recarga actual que consta de 25.106. La distribución de estos puntos se enfocará en cubrir la gran distribución geográfica del país.
- Impulso a la recarga rápida: Se prestará especial atención a la instalación de puntos de recarga rápida, con potencias superiores a 150 kW, en las principales rutas de transporte y corredores viales. Esto permitirá reducir significativamente los tiempos de recarga y reducir o eliminar los cuellos de botellas que actualmente se encuentran en fechas señaladas debido al incremento de la afluencia de las carreteras.
- Interoperabilidad garantizada: Se implementarán medidas para asegurar la interoperabilidad entre los diferentes sistemas de recarga, permitiendo a los usuarios utilizar cualquier punto de recarga

### Mapa de puntos de recarga de acceso público.

Para facilitar el acceso a la información necesaria para una correcta planificación de los viajes largos para los usuarios de vehículos eléctricos el ministerio ha creado un mapa interactivo que se ha convertido en una herramienta esencial para los conductores gracias a la entrada en Vigor de la Orden TED/445/2023 ya que permite a los usuarios:

- **Información en tiempo real:** Los gestores de puntos de recarga están obligados a enviar datos de disponibilidad, lo que permite que el mapa muestre información actualizada sobre si un punto de recarga está libre u ocupado.
- **Precios y métodos de pago:** En el mapa incluirá detalles sobre los precios de la recarga y los métodos de pago aceptados en cada punto de recarga, facilitando la comparación y la toma de decisiones.
- **Filtros avanzados:** Los usuarios podrán realizar búsquedas más precisas utilizando filtros adicionales como el tipo de conector, la potencia de recarga y la presencia de servicios adicionales como aseos o zonas de descanso.

Las funcionalidades de este mapa son las siguientes:

- **Localización precisa:** Permite realizar una búsqueda muy precisas de puntos de recarga en función de las necesidades del usuario pudiendo

filtrar por tipo de conector, potencia y ubicación, provincia, municipio, código postal).

- **Información detallada:** Proporciona datos relevantes sobre cada punto de recarga, como la potencia máxima, el tipo de acceso (gratuito, de pago), la dirección exacta y los datos de contacto del operador.
- **Planificación de viajes:** Facilita la planificación de rutas para viajes largos, identificando los puntos de recarga compatibles con el vehículo, estimando los tiempos de recarga necesarios y calculando la distancia entre cada punto.

## Investigación, desarrollo e innovación

### Programas de I+D

Programa MOVE: Más allá de la financiación comentada anteriormente para la adquisición de vehículos y montaje de infraestructura de recarga, este programa ofrece lo siguiente:

- **Asesoramiento técnico:** Este programa ofrece asesoramiento técnico, actualmente ha brindado ya asesoría técnica a más de 500 entidades participantes, apoyándolas en la definición, desarrollo y ejecución de sus proyectos de I+D+i en movilidad sostenible.
- **Networking y formación:** Organización de más de 20 eventos de reuniendo a más de 1,000 profesionales del sector, con el objetivo de fomentar el aprendizaje y el intercambio de conocimientos sobre las últimas tecnologías desarrolladas.
- **Difusión y comunicación:** Este plan ofrece una gran visibilidad a proyectos, actualmente ha difundido más de 150 proyectos y mediante publicaciones, eventos y plataformas online.

**Programa CEI (Centro de Estudios de Innovación)**, el cual se divide en los siguientes tipos:

- **CEI de Investigación:** Apoyando la creación de 25 CEI de Investigación, en la que participan más de 150 empresas, universidades y centros de investigación para desarrollar proyectos colaborativos de I+D+i en movilidad sostenible.
- **CEI de Innovación:** Se han creado 10 proyectos enfocados en la transferencia de tecnología y el desarrollo de más de 30 productos y servicios innovadores para el mercado de la movilidad sostenible.
- **CEI Mixtos:** Existen 5 CEI Mixtos que combinan actividades de investigación e innovación, generando sinergias y acelerando el proceso de desarrollo e implementación de soluciones sostenibles enfocadas en la electromovilidad.

### Financiación

Se dan ayudas a proyectos de I+D+I con distintas modalidades de financiación:

- **Subvenciones a fondo perdido:** En la actualidad el programa MOVE ha otorgado más de 100 millones de euros en subvenciones a fondo perdido a proyectos de I+D+i en movilidad sostenible.
- **Cofinanciación:** Se han cofinanciado más de 50 proyectos con una inversión total de más de 200 millones de euros, movilizando fondos tanto públicos como privados para impulsar la innovación en el sector.
- **Préstamos:** Se han concedido más de 30 préstamos por un valor total de más de 50 millones de euros a empresas y entidades para financiar proyectos de inversión en tecnologías de electromovilidad, fomentando la adopción de soluciones sostenibles en el transporte.

En estas financiaciones se pueden encontrar líneas de crédito para la inversión en tecnologías de electromovilidad con diferentes características:

- **Tipos de interés competitivos:** Las líneas de crédito para la inversión en tecnologías de electromovilidad ofrecen tipos de interés que son, en promedio, un 20% inferiores a los de los préstamos tradicionales, facilitando el acceso a la financiación para las empresas del sector.
- **Plazos de amortización amplios:** Los plazos de amortización de estas líneas de crédito pueden extenderse hasta 10 años, permitiendo a las empresas financiar sus inversiones a largo plazo y de manera más flexible.
- **Carencias:** Se ofrecen periodos de gracia de hasta 2 años, durante los cuales las empresas no pagan interés, aliviando la carga financiera inicial y permitiendo una mejor planificación de los proyectos.

### Colaboración público-privada

Un factor fundamental para la consecución de los objetivos es la colaboración entre el sector público y privado, la cual va a ayudar a acelerar el desarrollo y la innovación. Derivado de esta colaboración se ha creado consorcios y plataformas de colaboración entre la empresa privada, las universidades y las administraciones públicas.

A continuación, se presentan algunos ejemplos:

- **MOVE-e:** Es un consorcio formado por 12 empresas, 5 universidades y 3 centros de investigación, donde se han desarrollado soluciones de movilidad eléctrica intermodal, incluyendo vehículos, infraestructura de recarga y sistemas de gestión de la movilidad.
- **FAME:** Esta plataforma tecnológica reúne a más de 200 agentes del sector de la movilidad urbana, facilitando el intercambio de información, la colaboración en proyectos conjuntos y la promoción de soluciones innovadoras.

Con estas sinergias se pueden obtener una gran serie:

- **Reducción de riesgos:** La colaboración público-privada ha permitido reducir en un 30% los riesgos asociados al desarrollo de proyectos complejos de I+D+i en movilidad sostenible, gracias a la puesta en común de recursos, conocimientos y experiencias.
- **Aceleración de la innovación:** Los proyectos desarrollados en colaboración entre el sector público y privado han logrado acortar en un 40% los tiempos de desarrollo e implementación de nuevas tecnologías y soluciones en comparación con proyectos realizados de forma individual.
- **Mayor impacto:** Los proyectos en los que hay una colaboración entre el sector público y privado tienen un impacto más significativo en la sociedad. Al estar alineados con las necesidades y prioridades tanto del sector público como del privado, tienen una mayor probabilidad de generar beneficios tangibles para la ciudadanía y el medio ambiente.

Algunos ejemplos concretos del impacto de la colaboración:

- **Desarrollo de vehículos eléctricos más eficientes y accesibles:** La colaboración entre empresas automovilísticas, centros de investigación y entidades públicas ha impulsado el desarrollo de vehículos eléctricos con mayor autonomía, menor tiempo de recarga y precios más competitivos, acelerando la adopción de esta tecnología.
- **Implementación de sistemas de transporte inteligentes:** La colaboración entre administraciones públicas, empresas tecnológicas y operadores de transporte ha permitido desarrollar e implementar sistemas inteligentes de gestión del tráfico, información al usuario y multimodalidad, optimizando la eficiencia del transporte público y privado y reduciendo la congestión urbana.
- **Fomento de la movilidad activa y compartida:** La colaboración entre entidades públicas, empresas privadas y organizaciones de la sociedad civil ha impulsado la creación de infraestructuras para la movilidad peatonal, ciclista y en bicicleta compartida, promoviendo hábitos de movilidad más saludables y sostenibles.

## Impacto medioambiental

En este apartado se van a exponer las leyes españolas más importantes para la transición hacia la movilidad sostenible. Estas leyes están enfocadas a reducir las emisiones, fomentar la economía circular y proteger el medio ambiente.

### Reducción de emisiones

#### **Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética:**

- Esta ley establece un objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 55% para el año 2030 y la neutralidad climática para el año 2050.
- El sector del transporte es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero en España, por lo que la descarbonización de este sector es crucial para alcanzar los objetivos establecidos.

- Esta ley promueve el desarrollo y la adopción del vehículo eléctrico como una alternativa sostenible a los vehículos de combustión interna.
- Se establecen medidas para incentivar la compra de vehículos eléctricos, como subvenciones, bonificaciones fiscales y acceso a zonas de bajas emisiones.
- Se fomenta la inversión en infraestructura de recarga para vehículos eléctricos.

### **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC):**

El PNIEC define estrategias y medidas para alcanzar los objetivos de descarbonización establecidos en la Ley 7/2021. En el ámbito del transporte, el PNIEC incluye las siguientes medidas:

- Aumentar la cuota de mercado del vehículo eléctrico hasta el 27% en 2030 y el 50% en 2050.
- Desplegar una red de puntos de recarga de vehículos eléctricos de al menos 80.000 puntos en 2030 y 350.000 puntos en 2050.
- Renovar el parque automovilístico con vehículos más eficientes y menos contaminantes.
- Fomentar el uso del transporte público, la bicicleta y la movilidad peatonal.

### **Evaluación de la contribución del vehículo eléctrico a la reducción de emisiones:**

Numerosos estudios han demostrado que el vehículo eléctrico contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero:

- La sustitución de un millón de vehículos de gasolina por vehículos eléctricos podría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en hasta 2 millones de toneladas al año.
- Los vehículos eléctricos generan hasta un 60% menos de emisiones de NO<sub>x</sub> y hasta un 90% menos de emisiones de partículas en suspensión atmosférica con un diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 µm que los vehículos de gasolina.

### **Economía circular:**

La estrategia Española sobre la economía circular cuanta con unos objetivos ambiciosos:

- Reducir en un 30% el consumo nacional de materiales en relación con el PIB, tomando como año de referencia el 2010.
- Reducir la generación de residuos un 15% respecto de lo generado en 2010.
- Reducir la generación residuos de alimentos en toda cadena alimentaria: 50% de reducción per cápita a nivel de hogar y consumo minorista y un 20% en las cadenas de producción y suministro a partir del año 2020.

- Incrementar la reutilización y preparación para la reutilización hasta llegar al 10% de los residuos municipales generados.
- Mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua.
- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO2 equivalente.

El sector del vehículo eléctrico tiene un gran potencial para contribuir a los objetivos de la Estrategia Española de Economía Circular:

- **Diseño para la circularidad:** El diseño de los vehículos eléctricos debe hacerse teniendo en cuenta su ciclo de vida completo desde la fabricación hasta la reutilización de sus componentes.
- **Materiales sostenibles:** La potenciación del uso de materiales reciclados y de origen sostenible en la fabricación de vehículos eléctricos reduce la demanda de materias primas vírgenes y minimiza el impacto ambiental de estos.
- **Baterías circulares:** La gestión eficiente de las baterías de los vehículos eléctricos, incluyendo su reciclaje y reutilización, es crucial para cerrar el ciclo circular en este sector.

## Protección del medio ambiente:

### Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera (PNCAP):

- **Estrategias para un aire más limpio:** El PNCAP define las estrategias y medidas necesarias para alcanzar los objetivos de calidad del aire establecidos por la Unión Europea.
- **Papel del vehículo eléctrico:** La promoción del vehículo eléctrico es una de las medidas clave del PNCAP para reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos y mejorar la calidad del aire en las ciudades españolas.

A continuación, se van a comentar una serie de estudios donde se analizan el impacto del vehículo eléctrico en la calidad del aire y la salud pública donde se avalan los beneficios del vehículo eléctrico:

- **Estudio de la OMS:** La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la sustitución global de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos podría evitar hasta 8 millones de muertes prematuras al año relacionadas con la contaminación del aire.
- **Estudio de la AEMA:** La Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) concluye que los vehículos eléctricos podrían reducir las emisiones de NOx (óxidos de nitrógeno) en hasta un 50% y las emisiones de PM (partículas en suspensión) en hasta un 80% en las ciudades europeas.
- **Reducción de enfermedades respiratorias:** La disminución de la contaminación del aire gracias a los vehículos eléctricos podría reducir significativamente la incidencia de enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis y la neumonía.

- **Menos enfermedades cardiovasculares:** La exposición a los contaminantes atmosféricos también se asocia con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. El uso generalizado de vehículos eléctricos podría contribuir a reducir la incidencia de estas enfermedades.
- **Mejora de la calidad de vida:** Una mejor calidad del aire gracias a la menor contaminación vehicular se traduce en una mayor calidad de vida para las personas, especialmente en las zonas urbanas.

## Legislación Europea

### Regulación de emisiones de CO2:

La unión europea tiene un objetivo muy ambicioso relacionado con el vehículo eléctrico, y es el eliminar las emisiones de CO2 de los vehículos nuevos para el año 2035, lo que significa que todos los vehículos vendidos a partir de esa fecha deberán ser de cero emisiones, ya bien eléctricos o de hidrogeno.

Para lograr este ambicioso objetivo se han puesto en marcha una serie de reglamentos:

- **Reglamento (UE) 2019/631:** En este reglamento se establecen objetivos de reducción de emisiones para turismos y vehículos comerciales ligeros nuevos. Los objetivos se fijan en términos de emisiones medias de CO2 por kilómetro recorrido para todos los vehículos nuevos vendidos por cada fabricante en la UE. Para el año 2030, las emisiones medias de CO2 de los vehículos nuevos deberán ser un 65% inferiores a las de 2019. A partir de ahí, se aplicarán reducciones adicionales hasta llegar a cero emisiones en 2035.
- **Reglamento (UE) 2019/1242:** Este reglamento establece objetivos de reducción de emisiones para determinados vehículos pesados nuevos, como camiones y autobuses. Los objetivos se fijan en términos de eficiencia energética y se expresan en gramos de CO2 por tonelada-kilómetro recorrido. Para el año 2025, la eficiencia energética de los vehículos pesados nuevos deberá ser un 30% superior a la de 2019. A partir de ahí, se aplicarán reducciones adicionales hasta llegar a cero emisiones en 2040 para camiones y en 2049 para autobuses.

### Impactos esperados:

Con estas medidas se espera propulsar la industria de la electromovilidad y de otras alternativas como puede ser el hidrogeno, mejorando así la calidad del aire y continuando en la lucha contra el cambio climático.

Además, en estos reglamentos también se hablan de una serie de medidas económicas para potenciar esta transición:

- **Incentivos a la compra:** Se ofrecen subvenciones y otros incentivos financieros a los consumidores y empresas que adquieran vehículos eléctricos o de bajas emisiones.

- **Despliegue de infraestructura de recarga:** Se están realizando inversiones significativas en la instalación de puntos de recarga para vehículos eléctricos en toda la UE.
- **Investigación y desarrollo:** Se está financiando la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de baterías y otras tecnologías relacionadas con los vehículos eléctricos.

### **Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023**

Este real decreto establece un marco legal para la gestión de las baterías de los vehículos eléctricos, desde su producción hasta su tratamiento al final de su vida útil.

Los objetivos de este reglamento son:

- Garantizar la trazabilidad de las baterías.
- Minimizar el impacto ambiental de las baterías.
- Fomentar el reciclaje y la reutilización de las baterías.
- Evitar la generación de residuos peligrosos.
- Fomento de materiales sostenibles:

Algunos ejemplos de adopción de este reglamento que están en curso son:

- **Aluminio reciclado:** Diversas empresas automotrices están utilizando aluminio reciclado en la fabricación de carrocerías y componentes de vehículos eléctricos.
- **Plásticos biodegradables:** Se están desarrollando y utilizando plásticos biodegradables en componentes interiores y piezas no estructurales de vehículos eléctricos.
- **Fibras naturales:** El lino, el cáñamo y otras fibras naturales se están utilizando en materiales compuestos para aligerar el peso de los vehículos eléctricos.

El reciclaje de materiales trae consigo una serie de beneficios:

- **Reducción de la huella ambiental:** La utilización de materiales sostenibles y reciclados en la fabricación de vehículos eléctricos reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de energía y el impacto ambiental durante la producción.
- **Economía circular:** El uso de materiales reciclados y biodegradables fomenta la reutilización y el reciclaje de materiales, cerrando el ciclo circular en la cadena de suministro del vehículo eléctrico.
- **Diferenciación competitiva:** Las empresas que adoptan materiales sostenibles en sus vehículos eléctricos pueden mejorar su imagen de marca y atraer a consumidores conscientes del medio ambiente.

Algunas iniciativas en curso son las siguientes:

- **Li-ion Recycling Plant:** Esta planta de reciclaje de baterías de litio, está ubicada en Navarra, tiene una capacidad de tratamiento de 8.000 toneladas de baterías al año.
- **Proyecto REUTILB:** Este proyecto, financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI), tiene como objetivo desarrollar nuevas tecnologías para el reciclaje de baterías de vehículos eléctricos a gran escala.
- **Fundación CIRCE:** Esta fundación sin fines de lucro desarrolla investigación y proyectos relacionados con la economía circular en el sector del vehículo eléctrico, incluyendo el reciclaje y la reutilización de baterías.

### Incentivos a la compra de vehículos eléctricos:

La UE ha implementado diversos instrumentos para promover la compra de vehículos eléctricos:

- **Directiva 2019/1161:** Esta dirigida a potenciar la adquisición de vehículos limpios y eficientes energéticamente. Esta directiva permite a los Estados miembros eximir o reducir impuestos sobre la compra de vehículos eléctricos, así como establecer otros tipos de incentivos, como subvenciones directas o beneficios fiscales adicionales.
- **Planes nacionales de incentivos:** Cada Estado miembro tiene la libertad de implementar sus propios planes de incentivos para la compra de vehículos eléctricos, en los que se tratan los siguientes puntos.
  - **Subvenciones directas:** Se ofrece una cantidad fija de dinero al comprador de un vehículo eléctrico.
  - **Descuentos en el precio de compra:** El fabricante o el vendedor ofrece una reducción en el precio del vehículo eléctrico.
  - **Exenciones fiscales:** Los compradores de vehículos eléctricos están exentos del pago de algunos impuestos, como el impuesto de matriculación o el impuesto sobre el valor añadido (IVA).
  - **Beneficios fiscales adicionales:** Los compradores de vehículos eléctricos pueden acceder a otros beneficios fiscales, como bonificaciones en la declaración de la renta o la posibilidad de aparcar de forma gratuita en zonas reservadas.

Un informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) concluyó que los incentivos pueden hacer que los vehículos eléctricos sean hasta un 40% más asequibles para los consumidores, lo que puede conducir a un aumento significativo de las ventas.

Ejemplos de planes nacionales de incentivos:

- **España:** El Plan Moves III ofrece subvenciones de entre 4.500€ y 7.000€ para la adquisición de vehículos eléctricos nuevos.

- **Francia:** El bono ecológico para vehículos eléctricos francés ofrece una ayuda de hasta 6.750€ para la compra de un vehículo eléctrico nuevo y de hasta 2.000€ para la compra de un vehículo híbrido enchufable nuevo.
- **Alemania:** El programa de primas para vehículos eléctricos alemán ofrece una ayuda de hasta 9.000€ para la compra de un vehículo eléctrico nuevo y de hasta 6.750€ para la compra de un vehículo híbrido enchufable nuevo.

## Despliegue de infraestructura de recarga:

El principal objetivo en cuanto al desarrollo de la infraestructura de recarga es ofrecer a los usuarios de vehículos eléctricos una red adecuada, sólida y fiable por todo el territorio. Debido a que este es el principal escollo para la adopción masiva de esta tecnología la UE ha implementado diversos instrumentos para promover el despliegue de infraestructura de recarga:

- **Directiva 2014/94/UE:** Se definen los requisitos técnicos mínimos para los puntos de recarga, así como las obligaciones de los Estados miembros para instalarlos.
- **Reglamento (UE) 2023/1804:** Establece objetivos específicos para la instalación de puntos de recarga en base al número de vehículos eléctricos que se espera que circulen en cada Estado miembro para el año 2030.
- **Fondos de la UE:** Incentivos para la financiación de la instalación de infraestructura de recarga:
  - **El Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER):** Este fondo está focalizado en financiar proyectos de infraestructura de recarga en regiones menos desarrolladas.
  - **El programa Horizonte Europa:** Enfocado en la financiación de proyectos de desarrollo de nuevas tecnologías de recarga.
  - **El Mecanismo para la Reconstrucción y la Resiliencia:** Este fondo puede utilizarse para financiar proyectos de infraestructura de recarga que contribuyan a la descarbonización de la economía.

Durante los últimos años ha habido un crecimiento significativo en el número de puntos de recarga hasta alcanzar la cifra actual de 650.000 puntos tras los 150.000 instalados durante el 2023. Sin embargo, todavía queda mucho por hacer para alcanzar los objetivos establecidos por el Reglamento (UE) 2018/1971.

Algunas de las principales iniciativas de para el despliegue de esta infraestructura son las siguientes:

- **Ionity:** Esta red europea de puntos de recarga ultra-rápida cuenta con más de 700 estaciones en toda Europa.
- **Enel X:** Esta empresa italiana afincada en más de 30 países ofrece soluciones de recarga para vehículos eléctricos tanto para el hogar como para empresas.

- **Fastned:** Esta empresa holandesa opera una red de puntos de recarga rápida en los Países Bajos, Bélgica, Alemania y Francia.

### Investigación y desarrollo:

El objetivo principal de la inversión en investigación y desarrollo (I+D) en el ámbito de los vehículos eléctricos es acelerar el avance de esta tecnología. La Unión Europea ha implementado diversos instrumentos para fomentar la I+D en vehículos eléctricos:

- **Programa Horizonte Europa:** La UE ha destinado miles de millones de euros a financiar proyectos relacionados con el desarrollo de nuevas tecnologías para vehículos eléctricos, como baterías, motores y sistemas de propulsión.
- **Alianza Europea de Baterías:** Esta iniciativa tiene como objetivo desarrollar una cadena de valor europea para la producción de baterías para vehículos eléctricos. En esta alianza trabajan conjuntamente gobiernos, empresas e instituciones de investigación con el objetivo de construir baterías más eficientes, sostenibles y asequibles.

Algunos proyectos de I+D en vehículos eléctricos:

- **El proyecto ELLIS:** El objetivo de este proyecto es desarrollar nuevas baterías de estado sólido que sean más seguras, eficientes y duraderas.
- **El proyecto AVATAR:** Este proyecto tiene como objetivo desarrollar vehículos eléctricos autónomos más eficientes y sostenibles.
- **El proyecto MOSAiC:** Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una plataforma modular para vehículos eléctricos que permita a los fabricantes producir una mayor variedad de modelos con mayor rapidez y eficiencia.

### Fiscalidad:

La Unión Europea ha implementado diversos instrumentos para establecer un marco fiscal favorable a los vehículos eléctricos para fomentar su adquisición, algunas de las normativas más importantes son las siguientes:

- **Directiva 2003/96/CE:** Mediante esta directiva se abre la posibilidad de que los Estados miembros puedan eximir o reducir algunos impuestos sobre los vehículos eléctricos, incluyendo el IVA, el impuesto de matriculación y otros impuestos especiales.
- **Planes nacionales de incentivos fiscales:** Cada Estado miembro de la UE tiene la libertad de implementar sus propios planes de incentivos fiscales para la compra de vehículos eléctricos.

Visto esto está demostrado que las ayudas en la normativas fiscales permiten aliviar el coste del ciclo de vida de los vehículos eléctricos llegando hasta reducir en un 10% los costes según la previsión de la Comisión Europea.

## Aranceles

No todas las acciones que se han realizado desde la unión europea han incentivado la adquisición de vehículos eléctricos. Este comentario es debido a que desde el 5 de julio del 2024 la UE ha impuesto aranceles a los vehículos eléctricos que provienen de China, por lo que afectaría a todas las marcas que dispongan de países en este territorio.

Estos aranceles pueden aumentar el valor de los vehículos entre el 17% y el 37%, aunque esta medida es necesaria debido a que hay que evitar las prácticas de competencia desleal el aumento de estos precios ha provocado un frenado en la venta de estos vehículos.

La Comisión Europea ha establecido un plazo de revisión de cuatro meses para evaluar los efectos de los aranceles y buscar soluciones alternativas, lo que genera un futuro incierto.

## Anexo V: Futuro del vehículo eléctrico: Un aliado para la integración de energías renovables y las SmartGrids

El vehículo eléctrico está destinado a modificar el panorama eléctrico tal y como lo conocemos gracias a su gran potencial. En este apartado se va a explicar su papel en la integración de las energías renovables y las redes eléctricas inteligentes (SmartGrids).

### Integración de las energías renovables

La capacidad de almacenamiento de los vehículos eléctricos lo convierte en un aliado muy importante para la integración de las energías renovables ya que pueden servirles como soportes para varios escenarios:

- **Almacenamiento de excedentes:** Cuando la producción de energía supere a la demanda, las baterías de estos vehículos pueden absorber estos excedentes.
- **Aumento de la penetración renovable:** Al ser las baterías de los vehículos un almacenamiento de soporte para los excedentes, eso va a permitir un incremento de la potencia renovable instalada.



*Ilustración 42: Integración de las energías renovables y el vehículo eléctrico Fuente: Electromaps*

Esto genera una mayor flexibilidad y resiliencia de la red:

- **Equilibrio de la demanda y la oferta:** En caso de incremento de demanda, la energía anteriormente almacenada en los vehículos eléctricos puede ser inyectada a la red ayudando a mantener el equilibrio de la red.

- **Mayor resiliencia frente a interrupciones:** En caso de cortes en el suministro eléctrico o fallo de generaciones, estos vehículos se presentan como una fuente de energía de respaldo durante emergencias.

## Tecnologías clave para un almacenamiento eficiente

Para conseguir esta integración es necesario el desarrollo de una serie de tecnologías clave para un almacenamiento y gestión óptima y eficiente:

### Sistemas de gestión de baterías (BMS)

El BMS (Battery Management System) es el centro neurálgico de la batería de un vehículo eléctrico. Es el sistema encargado de gestionar y optimizar su funcionamiento. Sus funciones son:

- **Monitorización del estado de la batería en tiempo real:** El BMS recopila datos sobre el voltaje, la corriente, la temperatura y otros parámetros de cada celda de la batería para obtener una imagen completa de su salud y rendimiento.
- **Optimización de la carga y descarga:** Basándose en los datos recopilados, el BMS toma decisiones inteligentes sobre cómo y cuándo cargar o descargar la batería para maximizar su vida útil, capacidad y eficiencia.
- **Protege las celdas de posibles daños:** El BMS implementa medidas de seguridad para evitar la sobrecarga, la descarga excesiva, el sobrecalentamiento y otros eventos que podrían dañar las celdas de la batería.
- **Equilibra las celdas:** El BMS asegura que todas las celdas de la batería se carguen y descarguen de manera uniforme, evitando desequilibrios que podrían reducir su rendimiento y vida útil.
- **Comunica el estado de la batería:** El BMS proporciona información sobre el estado de la batería al resto del vehículo y a los sistemas de gestión de energía, permitiendo una operación segura y eficiente del vehículo eléctrico en su conjunto.

### Algoritmos de optimización

Los sistemas de control y monitorización están creados a partir de algoritmos de optimización. Estos sistemas de control se encargan de consultar en tiempo real una gran cantidad de datos para conocer el estado y tomar decisiones inteligentes sobre la carga y descarga de las baterías:

- **Datos de producción renovable:** La cantidad de energía solar o eólica disponible en la red eléctrica en un momento dado.
- **Demanda de la red:** La cantidad de electricidad que se consume en la red en un momento dado.
- **Estado de las baterías:** El nivel de carga, la temperatura y la salud de las baterías de los vehículos eléctricos.

Basándose en estos datos, los algoritmos de optimización calculan la mejor estrategia de carga y descarga para:

- **Maximizar el uso de energía renovable:** Priorizar la carga de las baterías con energía renovable cuando esta es abundante y barata, minimizando el uso de fuentes de energía contaminantes y evitando la recarga en las horas punta.
- **Minimizar las pérdidas de energía:** Optimizar la carga y descarga de las baterías para reducir al mínimo las pérdidas de energía durante el proceso.
- **Satisfacer la demanda de energía:** Asegurar que haya suficiente energía almacenada en las baterías para satisfacer la demanda de los vehículos eléctricos cuando sea necesario.
- **Prolongar la vida útil de las baterías:** Evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de las baterías para extender su vida útil.

Estos sistemas de control y algoritmos de optimización se encuentran en constante innovación con el fin de aumentar su eficiencia.

### Comunicación bidireccional

Para conseguir que el vehículo eléctrico sea un almacenamiento de soporte que pueda recibir energía de la red cuando halla excedentes y devolverla cuando haya necesidades se necesitan implementar tecnologías que permitan el flujo de la electricidad en ambas direcciones, para ello es necesaria la comunicación bidireccional. Esta comunicación se realiza mediante interfaces inteligentes que:

- **Permiten que los vehículos eléctricos envíen información a la red:** Los vehículos eléctricos pueden compartir datos sobre la cantidad de energía disponible en sus baterías, su estado de carga y sus necesidades.
- **Permiten que la red envíe información a los vehículos eléctricos:** La red eléctrica puede enviar señales a los vehículos eléctricos para indicarles cuándo cargar o descargar sus baterías, en función de las necesidades del sistema.

Esta comunicación bidireccional trae consigo una serie de beneficios tanto para los vehículos eléctricos como para la red:

- **Optimización a nivel de red:** La coordinación de la carga y descarga de los vehículos eléctricos en toda la red permite maximizar el uso de la energía renovable.
- **Servicios de red:** La participación de los vehículos eléctricos en programas de respuesta a la demanda, vendiendo su energía excedente a la red cuando esta la necesita o reduciendo su consumo cuando la demanda es alta.
- **Integración de micro-redes:** La gestión eficiente del almacenamiento de energía en micro-redes locales, donde los vehículos eléctricos pueden alimentar hogares dando un paso más hacia la autogestión.

## SmartGrids

Las SmartGrids son redes eléctricas inteligentes que integran el comportamiento y las necesidades de todos los usuarios conectados a ella con el fin de crear una comunidad autosostenible energéticamente. Para conseguir esto los vehículos eléctricos, el BMS y los algoritmos de optimización son pilares fundamentales, ya que para hacerla efectiva es necesario mantener una comunicación constante entre los diferentes elementos de la red, incluyendo:

- **Generadores:** Centrales eléctricas, parques eólicos y solares, etc.
- **Consumidores:** Hogares, empresas e industrias.
- **Sistemas de almacenamiento:** Baterías, vehículos eléctricos, etc.
- **Infraestructura de red:** Cables, transformadores, subestaciones, etc.

Las SmartGrids se basan en diversas tecnologías para lograr su funcionamiento inteligente, entre las que destacan:

- **Medidores inteligentes:** Permiten a los consumidores monitorizar su consumo de energía en tiempo real y tomar decisiones más informadas sobre su uso.
- **Redes de comunicación:** Facilitan la interconexión y el intercambio de información entre todos los elementos de la red.
- **Software de gestión:** Analiza los datos en tiempo real y optimiza el funcionamiento de la red para maximizar la eficiencia, la fiabilidad y la sostenibilidad.



Ilustración 43: Smart Grids Fuente: Catalyze

## V2G (Vehicle to Grid)

La tecnología V2G (Vehicle to Grid) permite que los vehículos eléctricos actúen como baterías móviles, almacenando energía excedente de la red cuando la

demanda es baja y liberándola cuando la demanda aumenta o hay picos de consumo. Dado que los vehículos están estacionados el 95% del tiempo, sus baterías pueden utilizarse como sistemas de almacenamiento que interactúan con la red eléctrica. Esta capacidad de vertido de energía a la red aporta diversos beneficios:

- **Estabilización de la red:** La inyección de energía desde los vehículo eléctrico ayuda a equilibrar la oferta y la demanda en tiempo real, evitando sobrecargas y apagones.
- **Integración de energías renovables:** Al absorber el excedente de energía renovable, los vehículo eléctrico facilitan la integración de estas fuentes de energía intermitentes en la red, cargándose con excesos de energías renovables para descargarlas en horas pico.
- **Reducción de costes:** La optimización del uso de la energía reduce la necesidad de recurrir a centrales eléctricas contaminantes y costosas, minimizando los costes energéticos.
- **Participación en el mercado energético:** Los propietarios de vehículo eléctrico pueden vender su energía excedente a la red eléctrica en momentos de mayor consumo, obteniendo ingresos adicionales.
- **Regulación de la red:** La cantidad de vehículos eléctricos con capacidad de almacenar energía permite realizar servicios auxiliares, como la regulación de frecuencia, aumentando así la resiliencia y eficiencia de la red eléctrica.



Ilustración 44: Vehicle to Grid Fuente: AEDIVE

## V2H (Vehicle to Home)

La tecnología V2H permite la conexión entre infraestructuras renovables, vehículos eléctricos y viviendas ofreciendo así una infraestructura auto eficiente:

- **Autonomía energética:** Esta conexión permite a las viviendas no depender energéticamente de la red, permitiéndoles así desconectarse y seguir funcionando gracias a las fuentes de energías renovables propias de la vivienda y a la energía almacenada en el vehículo eléctrico.
- **Ahorro en la factura eléctrica:** La energía generada por las fuentes renovables y almacenada en el vehículo eléctrico puede ser utilizada en momentos de mayor precio de la electricidad, reduciendo el consumo de la red y los costes asociados. Los usuarios pueden programar la descarga de energía del vehículo eléctrico durante las horas pico, cuando las tarifas eléctricas son más altas, y recargar el vehículo durante las horas valle, cuando las tarifas son más bajas, maximizando así el ahorro económico.
- **Sostenibilidad:** La autogestión a través de las energías renovables de una vivienda con un vehículo eléctrico como sistema de almacenamiento de soporte permite dar un paso adelante ante la sostenibilidad energética.



*Ilustración 45: Vehicle to home Fuente: AEDIVE*

## V2B (Vehicle to Building)

La tecnología V2B (Vehicle to Building) amplía el concepto V2H, permitiendo que los vehículos eléctricos alimenten edificios comerciales o industriales, es decir, implementa esta metodología a gran escala. Esto ofrece nuevas posibilidades para la gestión energética eficiente de estos inmuebles:

- **Optimización del consumo energético:** La energía del vehículo eléctrico puede ser utilizada para cubrir los picos de demanda del edificio, reduciendo el consumo de la red y los costes energéticos.

- **Reducción de emisiones:** El uso de energía limpia del vehículo eléctrico disminuye la huella de carbono del edificio y contribuye a la lucha contra el cambio climático.
- **Microrredes energéticas:** Los vehículo eléctrico pueden formar parte de microrredes energéticas locales autosuficientes, alimentando al edificio y a otros consumidores cercanos.



*Ilustración 46: Vehicle to Building Fuente: AEDIVE*

En conclusión, las tecnologías V2G, V2H y V2B abren un abanico de posibilidades para la integración de los VE en las SmartGrids, convirtiéndolos en actores clave en la construcción de un futuro energético más sostenible, eficiente, flexible y resiliente.

## Bibliografía

- ALSIMET. (2022). *Procesos metalúrgicos industriales: pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia*. Obtenido de Procesos metalúrgicos industriales: pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia: <http://alsimet.es/es/noticias/procesos-metalurgicos-industriales-pirometalurgia-hidrometalurgia-y-electrometalurgia>
- Batery, U. (19 de 1 de 2024). *Charging Batteries*. Obtenido de <https://www.ufinebattery.com/blog/how-to-charge-a-lithium-ion-battery/>
- BMW. (2022). *Features & Specifications—BMW*. Obtenido de <https://www.bmwusa.com/>
- BOE. (2024). *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. Obtenido de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado: <https://www.boe.es/>
- DAZE. (28 de 8 de 2023). *Los Diferentes Tipos de Motores Eléctricos para Tu Movilidad Sostenible*. Obtenido de [https://daze.eu/es/guias-coches-electricos/tipos-motores-electricos/?srsltid=AfmBOorFaN-lup1JCDCVrDVJNDGdoyLVYXsbY\\_2W34-zhHBdcsXjN4GU](https://daze.eu/es/guias-coches-electricos/tipos-motores-electricos/?srsltid=AfmBOorFaN-lup1JCDCVrDVJNDGdoyLVYXsbY_2W34-zhHBdcsXjN4GU)
- ElectroMaps. (2024). *Mapa de puntos de recarga de vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://map.electromaps.com/es/>
- Energía y sociedad. (2024). *¿Por qué el vehículo eléctrico?* Obtenido de <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>
- Europea, D. O. (2024). Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html?locale=es#:~:text=El%20Diario%20Oficial%20de%20la,y%20organismos%20de%20la%20UE>.
- f. (f de f de f). *f*. Obtenido de f: f
- Ferrovial. (2024). *¿Qué es una batería de coche eléctrico?* Obtenido de <https://www.ferrovial.com/es/stem/bateria-de-coche-electrico/>
- Flexilwatts. (2023). *Fexibilidad de la femanda REE*. Obtenido de [https://www.ree.es/sites/default/files/go15\\_web\\_esp.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/go15_web_esp.pdf)
- Gestamp. (2022). *CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO*. Obtenido de CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO: <https://www.gestamp.com/Gestamp11/media/GestampFiles/Sustainability/Environment/El-ciclo-de-vida-del-vehiculo.pdf>
- Green technology. (2023). *Tipos de coches eléctricos*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/tipos-de-coches-electricos/>
- Heliox. (2024). *La movilidad eléctrica en el centro de la economía circular*. Obtenido de La movilidad eléctrica en el centro de la economía circular: La movilidad eléctrica en el centro de la economía circular

- IDAE. (2024). *Programa MOVES III. Movilidad eficiente & sostenible. En el marco del Plan de Recuperación. Transformación y Resiliencia. Financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU*. Obtenido de <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-movilidad-y-vehiculos/programa-moves-iii>
- JLCA. (2022). *Life Cycle Assessment Society of Japan*.
- Kainou, K. (2022). *Recommendation of Draft Revised Standard Calorific Value and Carbon Emission Factor for Fossil*. The Research Institute of Economy, Trade and Industry.
- LugEnergy. (2023). *Modos de recarga de vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://www.lugenergy.com/modos-de-recarga-vehiculos-electricos/>
- Ministerio de transportes y movilidad sostenible. (6 de 6 de 2023). *El coste total de propiedad (TCO) de los vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/el-coste-total-de-propiedad-tco-de-los-vehiculos-electricos-cada-vez-mas-bajo-respecto-al>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2024). *Miteco*. Obtenido de Miteco: <https://www.miteco.gob.es/>
- Nissan. (2022). *Nissan LEAF Range & Charging, Nissan USA*. Obtenido de Nissan LEAF Range & Charging, Nissan USA: <https://www.nissanusa.com/>
- Parlamento Europeo. (2024). *Emisiones de CO2 de los coches*. Obtenido de Emisiones de CO2 de los coches: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
- REE. (2024). *Operación del sistema eléctrico*. Obtenido de Operación del sistema eléctrico: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico>
- REE. (2024). *Seguimiento de la demanda de energía eléctrica*. Obtenido de Seguimiento de la demanda de energía eléctrica: <https://demanda.ree.es/visiona/peninsula/nacional/total>
- Rodriguez, M. (15 de 1 de 2024). *Matriculaciones de coches eléctricos en 2023 en Europa*. Obtenido de Matriculaciones de coches eléctricos en 2023 en Europa: <https://www.electromaps.com/es/blog/matriculaciones-coches-electricos-europa-2023>
- Ryuji Kawamoto, H. M. (2019). *Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion*.
- TheWallbox. (s.f.). *Tipos de conectores de Vehículos Eléctricos*. Obtenido de <https://thewallboxstore.com/es/content/tipos-de-conectores-de-vehiculos-electricos>

- Thinkstep, A. (2023). *Software and Database Contents for Life Cycle Engineering*.
- Thompson, M. (27 de 3 de 2024). *Integración de vehículos eléctricos en las redes inteligentes*. Obtenido de Integración de vehículos eléctricos en las redes inteligentes: <https://sigmaearth.com/es/integrating-electric-vehicles-into-the-smart-grids-an-analysis/>
- Torre, A. d. (4 de 7 de 2024). *Características técnicas de los vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://www.xataka.com/movilidad/coches-electricos-autonomia>
- Toyota. (29 de 3 de 2023). *Componentes de un coche 100% eléctrico*. Obtenido de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/componentes-de-un-coche-electrico-toyota>
- V2C. (2023). *Tipologías de vehículos eléctricos*. Obtenido de <https://v2charge.com/es/tipos-coches-electricos/>
- Vindry, B. (20 de 7 de 2024). *Integración de energías renovables en la recarga de vehículos eléctricos*. Obtenido de Integración de energías renovables en la recarga de vehículos eléctricos: <https://www.electromaps.com/es/blog/integracion-renovable-energia-ev-recarga>
- Volkswagen. (2023). *Volkswagen Unveils the People First Warranty, the New Industry Leader*. Obtenido de Volkswagen Unveils the People First Warranty, the New Industry Leader: <http://newsroom.vw.com/vehicles/volkswagen-unveils-the-people-first-warranty-the-newindustry->