



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DEL CAMBIO DE MOVILIDAD DE COMBUSTIÓN A ELÉCTRICA

Autor: Pablo Cayetano García Hernández

Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis de la experiencia del cambio de movilidad de combustión a eléctrica
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Pablo Cayetano García Hernández

Fecha: 23/ 08/ 2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

DE NORVERTO Firmado digitalmente
MORIÑIGO por DE NORVERTO
JUAN - MORIÑIGO JUAN -
09746499L 09746499L
Fecha: 2023.08.24
09:56:20 +02'00'



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DEL PASO DE MOVILIDAD DE COMBUSTIÓN A ELÉCTRICA

Autor: Pablo Cayetano García Hernández

Director: Juan de Norverto Moriño

Madrid

ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DEL CAMBIO DE MOVILIDAD DE COMBUSTIÓN A ELÉCTRICA

Autor: García Hernández, Pablo Cayetano.

Director: de Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se analiza el cambio actual de movilidad de combustión a eléctrica. Con este análisis se pretende estudiar la viabilidad del actual cambio de movilidad en varios aspectos: económico, técnico y sostenible.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, vehículo de combustión, eficiencia, emisiones, autonomía, punto de recarga.

1. Introducción

En este proyecto se expone una visión real del escenario del cambio a la movilidad eléctrica con el fin de identificar sus principales ventajas e inconvenientes. Con esta visión, se valorarán los puntos fuertes y los aspectos a mejorar de este cambio y se expondrá una conclusión.

La transición de la movilidad basada en combustión a la movilidad eléctrica es un tema de gran relevancia en la actualidad, impulsado por la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover un transporte más sostenible.

2. Definición del proyecto

Primero, se han sintetizado las estrategias de España y de la UE para contextualizar el escenario actual de la movilidad. Estas estrategias son muy similares.

La Unión Europea se enfoca en tres aspectos clave para promover una movilidad más sostenible:

- Primero, busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire mediante la promoción de vehículos eléctricos, combustibles alternativos y mejoras en la eficiencia energética del transporte. En España, se pretende que, no más tarde del 2040, los turismos y vehículos comerciales nuevos sean de 0 emisiones (directas).
- Segundo, se compromete a desarrollar una amplia infraestructura de carga para vehículos eléctricos en toda Europa, con el objetivo de facilitar su adopción y aumentar su autonomía.

- Tercero, la UE impulsa la movilidad inteligente mediante el uso de tecnologías digitales, como la gestión del tráfico basada en datos, el transporte compartido y la intermodalidad, para lograr una movilidad más eficiente y conectada. Estos esfuerzos se enmarcan en la estrategia de la UE para una movilidad más limpia y sostenible.

Tras estudiar la situación actual y las estrategias futuras, se ha realizado una comparación entre los vehículos de combustión y los VEs. Los aspectos de la comparación han sido el mantenimiento, la autonomía, el consumo (de la mano de la eficiencia) y las emisiones.

Después, se ha analizado la situación global de las materias primas más utilizadas en el sector de la movilidad eléctrica, que principalmente son el litio y el cobre. Con este análisis se ha podido identificar si existen materias primas críticas que puedan dificultar la próxima fabricación en gran escala de los VEs.

Por último, se ha realizado un estudio económico de la adquisición de un VE comparado con un vehículo de combustión similar. En concreto, se ha realizado del Peugeot e-208 (136CV) en comparación con el Peugeot 208 (el modelo de 130CV).

3. Resultados y conclusiones

Este proyecto ha proporcionado una visión en profundidad y completa del estado actual de la tecnología de vehículos eléctricos (VE). A lo largo de este estudio, se han abordado diversos aspectos, tanto en el ámbito legislativo (las políticas de España y la UE), como en el ámbito ingenieril y económico (la evaluación de aspectos técnicos de la movilidad eléctrica frente a la de combustión, el estudio de las materias primas críticas y el estudio económico de la adquisición de un VE). Los resultados y hallazgos clave de esta investigación destacan la viabilidad y el potencial de los VEs como una alternativa sostenible y eficiente a los vehículos de combustión interna, aunque con varios matices y puntos a mejorar.

Se ha demostrado que los vehículos eléctricos presentan ventajas notables en términos de reducción de emisiones, menor dependencia de los combustibles fósiles y la capacidad de contribuir a la mitigación del cambio climático. En el apartado de [Comparación de consumo](#) se ha podido ver cómo un VE tiene mayor eficiencia y consume en torno a 3 veces menos que un vehículo de combustión (55 kWh/100km frente a 17 kWh/100km, de media). En la siguiente gráfica se comparan los consumos. Para los vehículos de combustión, se ha utilizado el poder calorífico de la gasolina/diésel para convertir su consumo en kWh/100km.

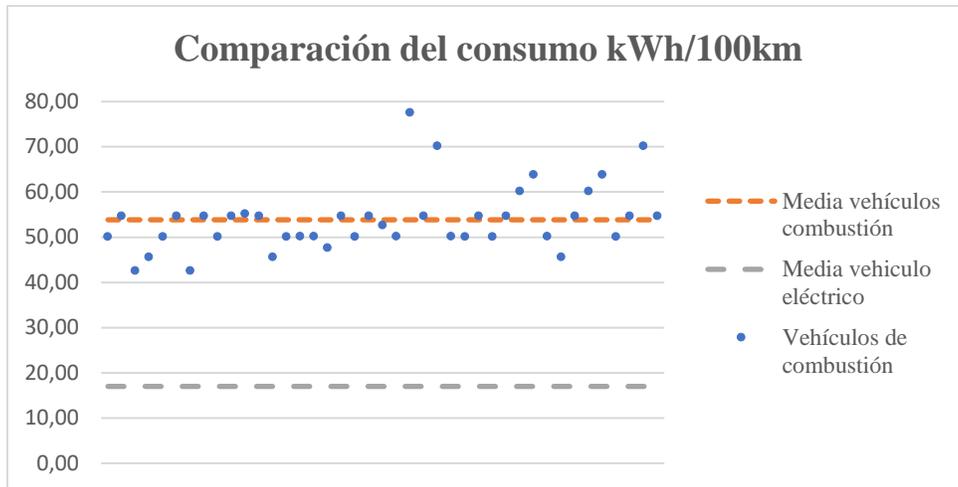


Ilustración 1: Comparación del consumo de vehículos de combustión y vehículos eléctricos

Por otro lado, en el apartado de [Comparación de las emisiones](#), se ha observado como a pesar de consumir energía proveniente de fuentes no sostenibles, el VE genera en torno a un 65% menos de emisiones de CO₂ por kilómetro en su ciclo de vida (en Europa).

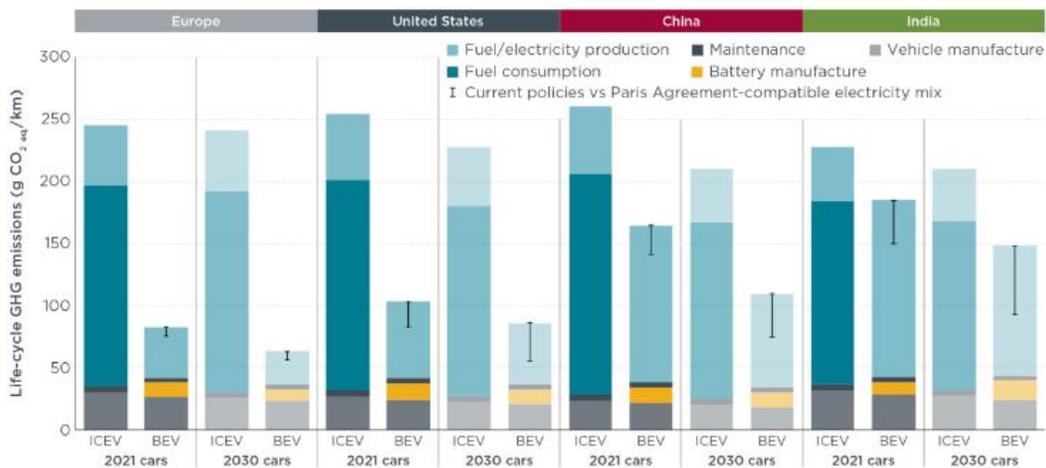


Ilustración 2: Comparación de emisiones del ciclo de vida de vehículos eléctricos vs combustión [1]

Sin duda, estas ventajas suponen un paso revolucionario en el sector de la automoción, que se adapta a las circunstancias actuales de cambio climático. Sin embargo, en este proyecto se han detectado algunos inconvenientes que hay que tener en cuenta antes de fabricar vehículos eléctricos de forma masiva.

Se debe destacar que todavía existen desafíos técnicos y económicos que deben superarse para lograr una adopción generalizada de los vehículos eléctricos. Un factor técnico a mejorar es la autonomía, la cual es muy variable según las condiciones de conducción y del entorno

y es en torno a un 40% menor que la de los vehículos de combustión (de media), como se puede ver en la [Comparación de la autonomía](#).

Otro factor importante es la infraestructura de carga, la cual debe expandirse y abaratar el coste de recarga público para que las personas que no pueden tener punto de recarga propio rentabilicen la adquisición del vehículo eléctrico. Por último, se debe seguir trabajando en la mejora de la gestión de recursos energéticos y de materiales, de este modo las emisiones indirectas de los vehículos eléctricos podrán reducirse notablemente. Respecto a los recursos materiales, se debe seguir trabajando en nuevas formas de almacenamiento de energía con distintos materiales. Con ello, se diversificará la demanda de materiales con el fin de que no se agoten o se monopolicen. En el caso del litio, el material más importante de las baterías de los VEs, se puede ver en el apartado de [Litio y otros materiales](#) que el 77% de su producción viene de la mano de Australia y Chile.

Respecto al [Estudio Económico](#), se concluye con que en el caso del Peugeot 208 vs Peugeot e-208, el ahorro en el caso con punto de recarga particular es de 8143 euros en 15 años (unos 550 euros anuales) y en el caso sin punto de recarga, el ahorro es de 3874 euros (258 euros anuales). Este ahorro viene en ambos casos de los costes de combustibles y mantenimiento, beneficios fiscales y beneficios de aparcamiento. En ambos casos, se ha supuesto que la duración de la batería llega a los 15 años. En conclusión, el ahorro económico es muy bajo frente al riesgo demasiado elevado en cuanto a la duración de la batería, la cual tiene una garantía del 70% de capacidad durante solamente 8 años o 160.000 km. Además, este ahorro implicaría ciertas incomodidades, como la menor autonomía del vehículo, que conlleva la obligación de planificar viajes largos estratégicamente, así como la variación de la capacidad de la batería según las condiciones de conducción (como la temperatura y la velocidad).

En todos estos factores a mejorar de los VEs que se han citado, juegan un papel importante las políticas gubernamentales y la colaboración de la industria en el impulso de esta tecnología. Al comienzo del documento se han expuesto brevemente las estrategias principales de la UE y España, las cuales van de la mano. Sin embargo, como se ha podido observar en el estudio económico, si se quiere seguir estrictamente el plan estratégico de la UE, van a ser necesarias ayudas y subvenciones para la compra de VEs. Esto se debe a que, como se ha expuesto en el [Estudio Económico](#), la adquisición del VE consigue un ahorro económico en el largo plazo, pero supone una mayor inversión inicial y una posible gran inversión en el caso de deterioro de la batería.

En última instancia, este trabajo respalda la idea de que los vehículos eléctricos pueden desempeñar un papel fundamental en el futuro de la movilidad sostenible y que la investigación y el desarrollo continuos son esenciales para avanzar en esta dirección. Sin embargo, es necesario trabajar en los desafíos técnicos y económicos expuestos en el proyecto si se quiere llegar al objetivo que propone la UE (el cual se encuentra todavía muy lejos). Los VEs no sólo son necesarios para reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero y mejorar la calidad del aire, sino que también representan una oportunidad para la innovación y el liderazgo en la industria automotriz, la cual se encuentra en pleno cambio hacia la movilidad eléctrica. Por lo tanto, este estudio pretende contribuir al conocimiento existente sobre vehículos eléctricos y brinda una base sólida para futuras investigaciones y avances en el campo de la ingeniería.

ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF THE CHANGE FROM COMBUSTION TO ELECTRIC MOBILITY

Author: García Hernández, Pablo Cayetano.

Supervisor: de Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project analyzes the current change from combustion to electric mobility. With this analysis we intend to study the feasibility of the current change of mobility in several aspects: economic, technical and sustainable.

Keywords: Electric vehicle, combustion vehicle, efficiency, emissions, range, recharging point.

1. Introduction

This project aims to give a real vision of the scenario of the change to electric mobility in order to identify its main advantages and disadvantages. With this vision, the strengths and aspects to be improved of this change will be assessed and a conclusion will be drawn.

The transition from combustion-based mobility to electric mobility is a highly relevant issue today, driven by the need to reduce greenhouse gas emissions and promote more sustainable transport.

2. Project definition

First, the strategies of Spain and the EU have been synthesized to contextualize the current mobility scenario. These strategies are very similar.

The European Union focuses on three key aspects to promote more sustainable mobility:

- First, it seeks to reduce greenhouse gas emissions and air pollution by promoting electric vehicles, alternative fuels and improvements in the energy efficiency of transport. In Spain, it is intended that, from 2050, only zero-emission vehicles will be sold.
- Second, it is committed to developing an extensive charging infrastructure for electric vehicles throughout Europe, with the aim of facilitating their adoption and increasing their range.
- Third, the EU is driving smart mobility through the use of digital technologies, such as data-driven traffic management, ridesharing and intermodality, to achieve

more efficient and connected mobility. These efforts are part of the EU's strategy for cleaner and more sustainable mobility.

After studying the current situation and future strategies, a comparison has been made between combustion vehicles and EVs. The aspects of the comparison have been maintenance, autonomy, consumption (hand in hand with efficiency) and emissions.

Then, the global situation of the raw materials most used in the electric mobility sector, mainly lithium and copper, was analyzed. With this analysis it has been possible to identify whether there are critical raw materials that could hinder the next large-scale manufacturing of EVs.

Finally, an economic study of the acquisition of an EV compared to a similar combustion vehicle has been carried out. Specifically, the Peugeot e-208 (136hp) was compared to the Peugeot 208 (the 130hp model).

3. Results and conclusions

This project has provided an in-depth and comprehensive view of the current state of electric vehicle (EV) technology. Throughout this study, several aspects have been addressed, both in the legislative field (Spanish and EU policies), as well as in the engineering and economic field (the evaluation of technical aspects of electric versus combustion mobility, the study of critical raw materials and the economic study of the acquisition of an EV). The key results and findings of this research highlight the feasibility and potential of EVs as a sustainable and efficient alternative to internal combustion vehicles, albeit with several nuances and points for improvement.

EVs have been shown to have notable advantages in terms of reduced emissions, reduced dependence on fossil fuels, and the ability to contribute to climate change mitigation. In the consumption comparison section, it has been shown that an EV is more efficient and consumes around 3 times less than a combustion vehicle (55 kWh/100km vs. 17 kWh/100km, on average).

The following graph compares consumption. For combustion vehicles, the calorific value of gasoline/diesel has been used to convert their consumption into kWh/100km.

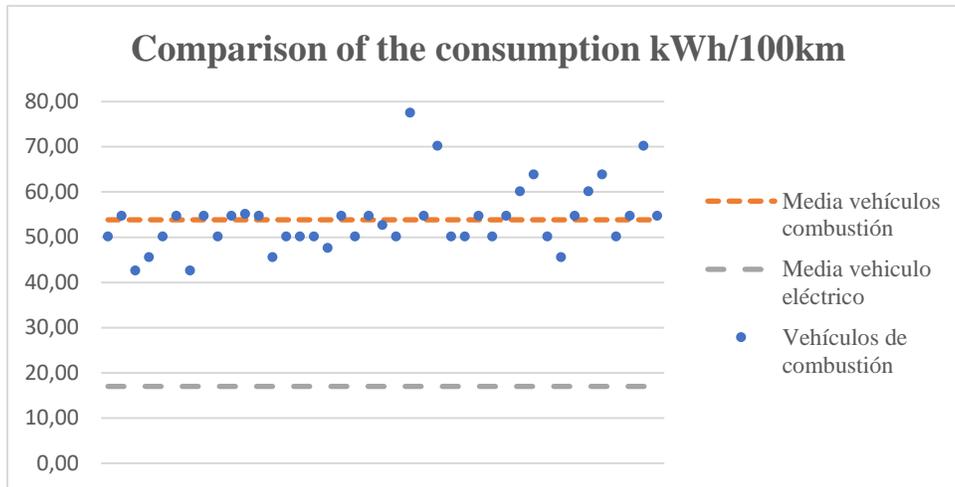


Illustration 1: Comparison of the consumption kWh/100km

On the other hand, in the emissions comparison section, it has been observed that despite consuming energy from non-sustainable sources, the EV generates around 65% less CO₂ emissions per kilometer in its life cycle (in Europe).

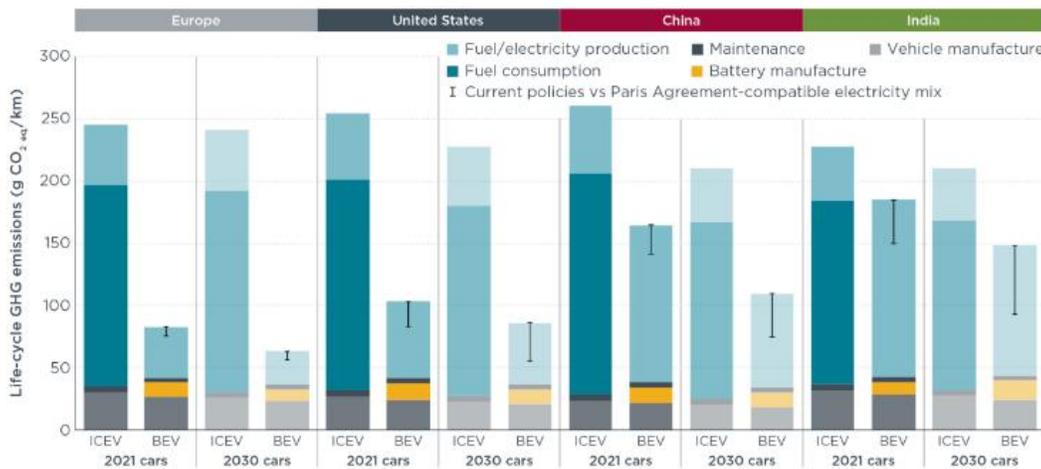


Illustration 2: Life-cycle GHG emissions

Undoubtedly, these advantages represent a revolutionary step in the automotive sector, which adapts to the current circumstances of climate change. However, this project has identified some drawbacks to be taken into account before mass production of electric vehicles.

It should be noted that there are still technical and economic challenges to be overcome in order to achieve widespread adoption of electric vehicles. One technical factor to be improved is range, which is highly variable depending on driving and environmental

conditions and is around 40% less than that of combustion vehicles (on average), as can be seen in the Range Comparison.

Another important factor is the charging infrastructure, which should be expanded and the cost of public charging should be lowered so that people who cannot have their own charging point can make the purchase of an electric vehicle profitable. Finally, work must continue on improving the management of energy resources and materials, so that the indirect emissions of electric vehicles can be significantly reduced. With regard to material resources, work must continue on new forms of energy storage with different materials. This will diversify the demand for materials so that they do not run out or become monopolized. In the case of lithium, the most important material for EV batteries, it can be seen in the section on Lithium and other materials that 77% of its production comes from Australia and Chile.

Regarding the Economic Study, it is concluded that in the case of the Peugeot 208 vs Peugeot e-208, the saving in the case with private recharge point is 8143 euros in 15 years (about 550 euros per year) and in the case without recharge point, the saving is 3874 euros (258 euros per year). This saving comes in both cases from fuel and maintenance costs, tax benefits and parking benefits. In both cases, it has been assumed that the battery life reaches 15 years. In conclusion, the economic savings are very low compared to the too high risk in terms of battery life, which is guaranteed at 70% capacity for only 8 years or 160,000 km. In addition, this saving would entail certain inconveniences, such as reduced vehicle autonomy, which entails the obligation to plan long journeys strategically, as well as the variation of battery capacity according to driving conditions (such as temperature and speed).

In all these factors to improve EVs that have been mentioned, government policies and industry collaboration in the promotion of this technology play an important role. At the beginning of this document, the main strategies of the EU and Spain, which go hand in hand, were briefly described. However, as has been observed in the economic study, if the EU's strategic plan is to be strictly followed, aid and subsidies for the purchase of EVs will be necessary. This is because, as discussed in the Economic Study, the purchase of EVs achieves economic savings in the long term, but involves a higher initial investment and a possible large investment in the event of battery deterioration.

Ultimately, this work supports the idea that EVs can play a key role in the future of sustainable mobility and that continued research and development is essential to move in this direction. However, work needs to be done on the technical and economic challenges outlined in the project if the EU's proposed target (which is still a long way off) is to be reached. EVs are not only necessary to reduce greenhouse gas emissions and improve air quality, but also represent an opportunity for innovation and leadership in the automotive industry, which is in the midst of a shift towards electric mobility. Therefore, this study aims to contribute to the existing knowledge on electric vehicles and provides a solid foundation for future research and engineering advances.

DOCUMENTO I

-

MEMORIA



ÍNDICE DE LA MEMORIA

Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN	5
1.1 Estado de la cuestión	5
1.2 Motivación del proyecto.....	8
1.3 Alineación con los Objetivos de desarrollo sostenible.....	8
1.4 Objetivos.....	10
1.5 Metodología.....	11
1.6 Recursos	11
Capítulo 2 – EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.....	12
2.1 Políticas y estrategias de España y la UE.....	12
2.1.1 Estrategia de movilidad de España.....	12
2.1.2 Estrategia de movilidad de la Unión Europea	13
2.2 Tendencias del mercado de la automoción.....	14
2.3 Comparativa de aspectos técnicos de los motores de combustión y eléctricos	17
2.3.1 Mantenimiento del vehículo.....	17
2.3.2 Comparación de la autonomía.....	20
2.3.3 Comparación del consumo	30
2.3.4 Comparación de las emisiones	35
2.4 Análisis de las materias primas críticas	37
2.4.1 Tipos de baterías de tracción en los vehículos eléctricos.....	37
2.4.2 Análisis elementos de las baterías de los vehículos eléctricos	41
2.4.3 Análisis elementos de los motores de los vehículos eléctricos y de combustión	44
2.4.4 Análisis de demanda y producción de los materiales de los vehículos eléctricos.....	48
2.5 Estudio del aumento de demanda eléctrica.....	57
2.6 Estudio económico de la compra de un vehículo eléctrico frente a un vehículo de combustión	60
Capítulo 3 – Conclusión	64
Bibliografía.....	67

ANEXO I **72**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Previsión de la distribución de las emisiones de CO₂ en la UE [3] 6

Figura 2: Comparación de las versiones de combustión y eléctricas de algunas marcas [4] . 7

Figura 3: Vehículos matriculados anualmente en España según carburante (Elaboración propia con datos de Epdata [5]) 14

Figura 4: Variación de vehículos matriculados según el combustible [5]..... 15

Figura 5: Tendencia y estimación de las ventas de vehículos eléctricos a nivel global [6] . 16

Figura 6: Esquema de los componentes principales del vehículo eléctrico (Elaboración propia)..... 18

Figura 7: Variación autonomía NEDC vs WLTP (Elaboración propia) 22

Figura 8: Autonomía vehículos eléctricos más vendidos 2021 WLTP vs NEDC (Elaboración propia)..... 23

Figura 9: Influencia de la velocidad y la temperatura en la autonomía de los vehículos eléctricos [7] 24

Figura 10: Estimación de la autonomía media de los vehículos de combustión (Elaboración propia)..... 25

Figura 11: Funcionamiento buffer batería vehículos eléctricos [8]..... 28

Figura 12: Forma de la degradación de la batería con el tiempo [7] 29

Figura 13: Cálculo del poder calorífico por combustible (Elaboración propia)..... 31

Figura 14: Consumo de los vehículos de combustión en kWh/100km (Elaboración propia) 32

Figura 15: Comparación del consumo energético en 100 km (Elaboración propia) 34

Figura 16: Comparación de emisiones del ciclo de vida de vehículos eléctricos vs combustión [9]	36
Figura 17: Esquema de una batería ión-litio [10].....	38
Figura 18: Composición de los distintos tipos de baterías de 60 kWh (en kg) (Elaboración propia con datos de World Energy Trade [11]).....	42
Figura 19: Composición de los distintos tipos de baterías de 60kWh (en %) (Elaboración propia).....	42
Figura 20: Comparación gráfica de la composición de las baterías de 60 kWh (elaboración propia).....	43
Figura 21: Partes principales del motor eléctrico [12]	45
Figura 22: Bloque motor de un vehículo de combustión [13].....	46
Figura 23: Pistones de un vehículo de combustión [14].....	46
Figura 24: Árbol de levas de un vehículo de combustión [15].....	47
Figura 25: Cigüeñal de un vehículo de combustión [16].....	47
Figura 26: Comparación de la composición de materiales de los vehículos eléctricos y convencionales [17].....	48
Figura 27: Estimación de la producción de cobre debida a la movilidad eléctrica en los próximos años [18]	51
Figura 28: Ranking de los mayores productores de litio en 2022 a nivel global [19].....	53
Figura 29: Evolución de los precios de los minerales de las baterías [20].....	56
Figura 30: Escenario estimado del impacto de los vehículos eléctricos en la demanda energética [21]	58
Figura 31: Evolución del impacto de los vehículos eléctricos en la demanda energética [22]	59
Figura 32: Impuesto de circulación según caballos fiscales en Madrid a 2023	61
Figura 33: Estudio de costes de Peugeot e208 vs Peugeot 208 (con punto de recarga).....	62
Figura 34: Estudio de costes de Peugeot e208 vs Peugeot 208 (sin punto de recarga)	63

Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN

Este proyecto trata de analizar el actual cambio de los vehículos de combustión a vehículos eléctricos. El fin de este análisis es determinar si bien es viable la sustitución total de los vehículos de combustión por eléctricos. Para ello, se deberá estudiar todos los aspectos de ambos tipos de motores: eficiencias, emisiones, materiales, precios, autonomía, duración del motor.

Tras la realización de dicho análisis se pretende determinar si es sostenible el cambio de los vehículos de combustión por vehículos híbridos o eléctricos. Esta sostenibilidad se estudiará mediante la medición de los aspectos ecológicos, sociales y económicos.

1.1 Estado de la cuestión

La transición a los vehículos eléctricos es un hecho que está cambiando por completo el mundo del transporte. Cada vez son más las restricciones que algunos vehículos de combustión antiguos tienen para entrar en ciertas ciudades de España.

Estas restricciones se ven reflejadas en el “Proyecto de ley de cambio climático y transición energética”. Dentro de este documento, existe un título completo con 3 artículos (14, 15 y 16) dedicado a la movilidad sin emisiones. Los artículos que más conciernen a este proyecto son el 14 y 15.

Este documento se publicó en mayo de 2021 en el Boletín Oficial del Estado (BOE). En él, se reflejan varios de los objetivos de España para cumplimiento de las normativas europeas, principalmente el Acuerdo de París.

Dicho acuerdo tiene tres objetivos principales. El primero consiste en limitar la media del incremento de temperatura global a 2 grados (con respecto a los niveles anteriores a la revolución industrial). El segundo objetivo trata de aumentar los esfuerzos para no rebasar los 1,5 grados a final del siglo XXI [1]. El último, consiste en conseguir la neutralidad climática en 2050. En este último objetivo, neutralidad climática hace referencia a que la emisión de CO₂ a la atmósfera sea equivalente a las emisiones naturales realizadas por los emisores naturales, como las plantas. La razón por la cual se hace mayor hincapié en el CO₂ porque es el principal gas causante del calentamiento global.

Por ello, se está realizando hincapié en la limitación de los combustibles fósiles en el sector transporte. Concretamente, en el Artículo 14 del Proyecto de ley de cambio climático y

transición energética se dicta que a partir de 2040 no se podrán vender vehículos que no tengan 0 g CO₂/km. Es decir, sólo se podrán vender vehículos eléctricos [2].

A nivel europeo, la distribución de la disminución de las emisiones de CO₂ se prevé de la siguiente manera.

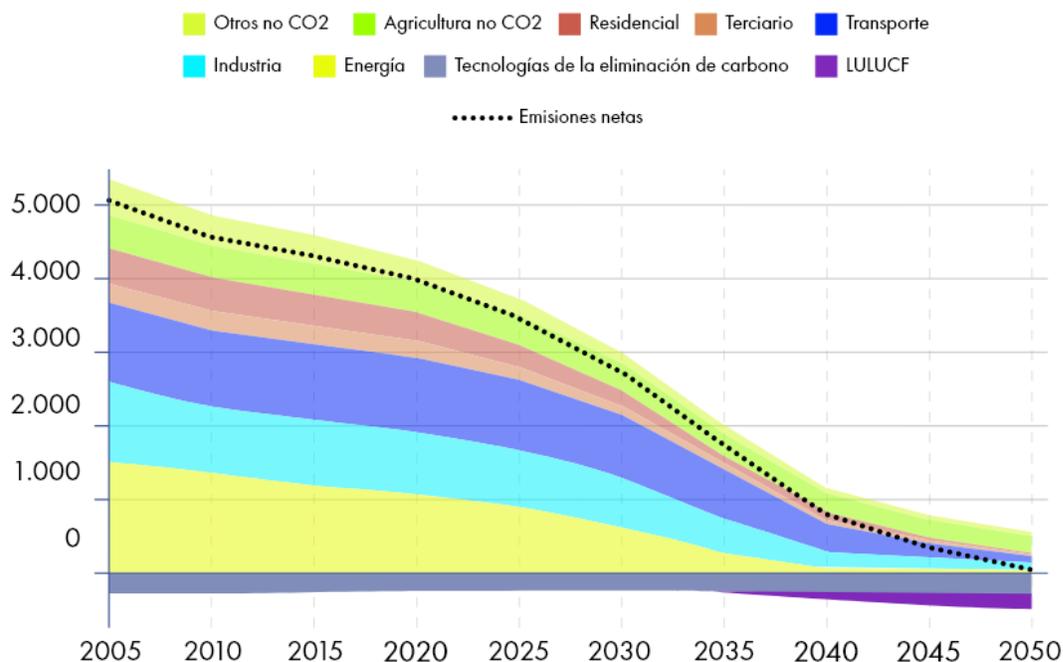


Figura 1: Previsión de la distribución de las emisiones de CO₂ en la UE [3]

Esta es la previsión oficial de la Comisión Europea. En la Figura 1 se puede apreciar como el transporte es uno de los sectores que mayor cambio va a experimentar (unas 1000 Mt de CO₂).

Más allá de las emisiones, existen factores que preocupan a los usuarios sobre el cambio a la movilidad eléctrica. Estos factores son los precios, la autonomía del vehículo y la vida útil de la batería.

Todos estos factores se deben a la batería, la cual se considera como el reto más desafiante en la migración a la movilidad eléctrica. Los aspectos más importantes que considerar son el peso, la autonomía, la vida útil y su rendimiento.

- La autonomía de las baterías de los vehículos eléctricos es un factor preocupante en este sector. Aunque ya existan baterías con una autonomía de 600 km en vehículos

de alta gama, todavía no se ha conseguido llegar a las autonomías de los vehículos de combustión. Las baterías son un desafío de diseño en el que hay que optimizar las dimensiones y el peso de esta, pero garantizando un precio y autonomía asequibles.

- El precio de los vehículos eléctricos no es todavía asequible para todos los bolsillos. Esto se debe en gran parte al alto precio de las baterías. Por ello, muchos gobiernos se ven obligados a ofrecer ayudas para favorecer la compra de los vehículos eléctricos.
- La vida útil de las baterías es un aspecto importante para valorar antes de pasarse a la movilidad eléctrica. Esta vida útil depende de varios factores, como el modelo de vehículo, la marca de la batería, la calidad de los materiales utilizados en su fabricación, la frecuencia y el estilo de conducción, y el clima.

En general, se espera que las baterías de los coches eléctricos duren entre 8 y 10 años o aproximadamente 100.000 a 200.000 kilómetros. Sin embargo, algunas baterías pueden durar más tiempo, y otras pueden necesitar ser reemplazadas antes de tiempo debido a un uso intensivo, condiciones climáticas extremas o problemas de calidad. Además, es importante saber que la capacidad de las baterías se verá reducida con el tiempo.

- La batería de los coches eléctricos hace que estos pesen hasta casi un 50% más que sus versiones de combustión. En la siguiente tabla se muestra algunas de las comparaciones entre las versiones de combustión y eléctricas.

COCHE	PESO	FUERZA DE IMPACTO	DIFERENCIA PESO (KG)	DIFERENCIA PESO (%)
FORD F-150	2.009 kg	484 Nm		
FORD F-150 LIGHTNING	2.990 kg	720 Nm	+981 kg	+48,83 %
BMW SERIE 4 GC	1.720 kg	414 Nm		
BMW I4	2.065 kg	497 Nm	+345 kg	+20,06%
MERCEDES CLASE E	1.730 kg	417 Nm		
MERCEDES EQE	2.385 kg	574 Nm	+655 kg	+37,86%
VOLKSWAGEN UP!	930 kg	224 Nm		
VOLKSWAGEN E-UP!	1.235 kg	297 Nm	+305 kg	+32,80%

Figura 2: Comparación de las versiones de combustión y eléctricas de algunas marcas [4]

- Otro factor considerable de las baterías es la variación de su rendimiento con las temperaturas. En la gran parte de España, este factor puede suponer un problema en determinadas épocas del año. A continuación, se muestra una variación media del rendimiento de las baterías según la temperatura.

En este contexto, se realiza este proyecto con el fin de conocer la verdadera experiencia hacia la movilidad eléctrica.

1.2 Motivación del proyecto

La motivación de este proyecto es descubrir si verdaderamente el cambio a vehículos eléctricos es un proceso sostenible.

Para ello, este cambio debe de ser económicamente viable, de modo pueda existir un mercado de vehículos eléctricos con precios similares a los vehículos de combustión.

Además, el cambio debe de ser sostenible, es decir, que verdaderamente suponga un paso hacia delante en la descarbonización del transporte mundial y que no suponga un futuro problema el reciclaje de los materiales utilizados.

Por último, este cambio deberá ser socialmente aceptable, pues los vehículos eléctricos deberán estar a la altura de las prestaciones de los vehículos de combustión en términos de utilidad.

1.3 Alineación con los Objetivos de desarrollo sostenible

Este proyecto estudia la garantía de sostenibilidad del transporte en los próximos años, ya que en él se analizará si es realmente sostenible el cambio hacia los vehículos eléctricos.



Figura 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Unesco [3]

En el proyecto se tratarán los objetivos de desarrollo sostenible 7, 11, 12 y 13.

El principal ODS tratado en el proyecto es el objetivo 13, que trata sobre la acción por el clima. El cambio hacia los vehículos eléctricos se está realizando con el fin de disminuir las emisiones de CO₂ del sector transporte, las cuales suponen un importante porcentaje en las emisiones totales de CO₂ en el mundo.

El objetivo 12 trata sobre la producción y el consumo responsables. Como se indica posteriormente en los objetivos del proyecto, se estudiará si es sostenible el reciclaje de las baterías de los vehículos eléctricos, ya que contienen elementos químicos como el litio, silicio, cobalto o grafeno.

Dado que este proyecto trata sobre la viabilidad de los vehículos eléctricos, otro ODS tratado será el objetivo 11. Dicho objetivo trata sobre ciudades y comunidades sostenibles, por lo que si verdaderamente es viable la producción en masa de los vehículos eléctricos, se producirá un decremento de las emisiones de CO₂ en las ciudades.

El objetivo 7 trata sobre la energía asequible y no contaminante. La alineación de este proyecto con el objetivo 7 viene del análisis del cambio de vehículos de combustión a vehículos eléctricos, el cuál puede conllevar un aumento en la producción de energía no renovable para suplir el aumento en la demanda de energía que conlleva recarga de estos vehículos eléctricos. Este aumento de producción puede suponer un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero.

1.4 Objetivos

En este proyecto se analizarán las condiciones de los motores de los vehículos de combustión y eléctricos con el fin de realizar una comparación entre ambos en términos prácticos. Más allá de las características prácticas de los motores, se analizarán las emisiones de los motores de combustión con el fin de determinar las emisiones que se evitarán con el cambio a los vehículos eléctricos. Respecto a las emisiones de los vehículos eléctricos, se considerará el aumento de emisiones debido a las partículas de frenado asociadas a una mayor masa.

Por otro lado, en este proyecto se pretende estudiar el escenario actual de los vehículos eléctricos con el fin de poder estimar la producción de vehículos eléctricos en el futuro. Con esta estimación se pretende realizar un análisis de las materias primas críticas. Una vez conocidas estas materias primas críticas, se determinará no sólo si es posible la producción en masa de los vehículos eléctricos, sino también si es sostenible. Para determinar esto último se aportará información sobre la vida útil de las baterías y su reciclaje tras su uso. Para la sostenibilidad, el proyecto se centrará en las baterías de los vehículos eléctricos, ya que es el elemento más diferencial con respecto a los vehículos de combustión.

Dentro de la comparación de los vehículos eléctricos y de combustión, se incluirá un apartado económico. En este se analizará si es económicamente rentable el vehículo eléctrico. Para realizar este análisis se tendrán en cuenta todos los costes de ambos vehículos: coste de adquisición, mantenimiento, combustible, cambio de batería, punto de recarga. Para los puntos de recarga se estudiarán dos casos posibles: punto de recarga ideal (particular, es decir, instalado en la propia vivienda) y no ideal (estaciones eléctricas públicas).

Finalmente, se realizará un estudio sobre el probable aumento de consumo eléctrico que incurriría el paso a los vehículos eléctricos. En este estudio se analizará si es necesario un aumento de la red de distribución eléctrica y la procedencia de la energía que cubriría este aumento de demanda, con el fin de determinar si es renovable o no renovable.

En este estudio, se analizarán las distintas eficiencias de los motores de combustión, los vehículos híbridos y los vehículos eléctricos. Además, se examinarán las emisiones de los vehículos de combustión, se estimará el volumen de producción de vehículos eléctricos y se evaluará la viabilidad de la producción de baterías, así como el reciclaje de estas en el futuro. También se analizará la versatilidad de los vehículos híbridos y eléctricos en comparación con los de combustión en términos de autonomía y duración. Por último, se estudiará si el aumento del consumo eléctrico debido a los puntos de recarga podría resultar en un aumento de la producción de energía no renovable y, por lo tanto, en un aumento de las emisiones.

Asimismo, se evaluará la viabilidad económica de los vehículos eléctricos en términos de ahorro en combustible.

1.5 Metodología

Para la realización del análisis tanto de los vehículos de combustión como eléctricos será necesario el ensayo (si es posible) y recopilación de datos. Además, se utilizarán estudios e informes oficiales que muestren datos de motores ya ensayados para facilitar el análisis del proyecto.

Dada la gran variedad de vehículos, en el proyecto se deberá o bien tomar un vehículo considerado estándar que tenga ambos modelos de combustión y eléctrico, o bien tomar varios vehículos estándar y trabajar con las medias de cada uno.

La elección de estas opciones dependerá principalmente de la posibilidad de recopilación o ensayo de los parámetros de los motores.

1.6 Recursos

Los recursos que se pretende utilizar en este proyecto son:

- Hojas de datos reales de motores de combustión y eléctricos (ensayos, si es posible, u hojas de datos oficiales ya publicadas).
- Laboratorio de ICAI (si es posible): para la realización de ensayos de motores.
- Excel: para la elaboración de cálculos, gráficos y tablas pertinentes al proyecto.

Capítulo 2 – EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

2.1 Políticas y estrategias de España y la UE

En esta parte se pretende realizar un estudio de las políticas y estrategias que se van a llevar a cabo en España y la Unión Europea. Este estudio ayudará a entender el porqué del cambio a la movilidad eléctrica y aportará una orientación sobre cómo se está realizando dicho cambio.

La estrategia de movilidad varía entre España y Europa en ciertos aspectos, aunque coinciden en una serie de objetivos comunes que buscan promover la movilidad sostenible y eficiente.

2.1.1 Estrategia de movilidad de España

España ha implementado varias medidas y políticas para abordar los desafíos de la movilidad. Las principales prioridades clave son las siguientes:

- Fomentar la movilidad sostenible: España busca promover el uso de modos de transporte más limpios y eficientes, como el transporte público, la bicicleta y los vehículos eléctricos. Esto se refleja en la expansión de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos, el fomento de la intermodalidad y la promoción de planes de movilidad urbana sostenible en ciudades.
- Reducción de emisiones: España se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector del transporte. Esto implica la promoción de combustibles alternativos más limpios, la mejora de la eficiencia de los vehículos y la inversión en infraestructuras de transporte más sostenibles.
- Digitalización y tecnología: España ha apostado por la digitalización en el sector de la movilidad, fomentando soluciones basadas en tecnologías inteligentes, como la gestión del tráfico, el pago electrónico y las aplicaciones móviles para el transporte público.

2.1.2 Estrategia de movilidad de la Unión Europea

La Unión Europea también tiene una estrategia de movilidad para abordar los desafíos comunes en toda Europa. Los aspectos destacados de esta estrategia son los siguientes:

- Transición hacia una movilidad limpia: La UE busca promover la transición hacia una movilidad más limpia y sostenible, con un enfoque en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. Esto implica la promoción de vehículos eléctricos, el fomento de combustibles alternativos y la mejora de la eficiencia energética en el transporte.
- Infraestructura de carga: La UE se ha comprometido a desarrollar una infraestructura de carga adecuada para vehículos eléctricos en toda Europa, con el objetivo de facilitar su adopción y aumentar la autonomía de estos vehículos.
- Movilidad inteligente: La UE busca aprovechar las tecnologías digitales para impulsar una movilidad más inteligente y eficiente. Esto incluye la promoción de soluciones de transporte inteligente, como la gestión del tráfico basada en datos, el transporte compartido y la intermodalidad.

En resumen, mientras que tanto España como la Unión Europea comparten objetivos generales para promover una movilidad sostenible, cada uno puede tener enfoques y prioridades específicas adaptadas a sus circunstancias particulares. La UE establece directrices y políticas que los países miembros, incluyendo España, deben seguir en sus respectivas estrategias de movilidad.

2.2 Tendencias del mercado de la automoción

Estas estrategias y políticas están llevando al mercado de la automoción a un cambio drástico. Por tanto, las marcas convencionales se han visto obligadas a apostar por los vehículos eléctricos con el fin de no disminuir sus ventas. Además, marcas como Tesla, especializada en vehículos eléctricos únicamente, se han podido abrir paso, liderando la venta de los vehículos eléctricos de alta gama.

A continuación, se muestra el número de matriculaciones anual desde el año 2018.

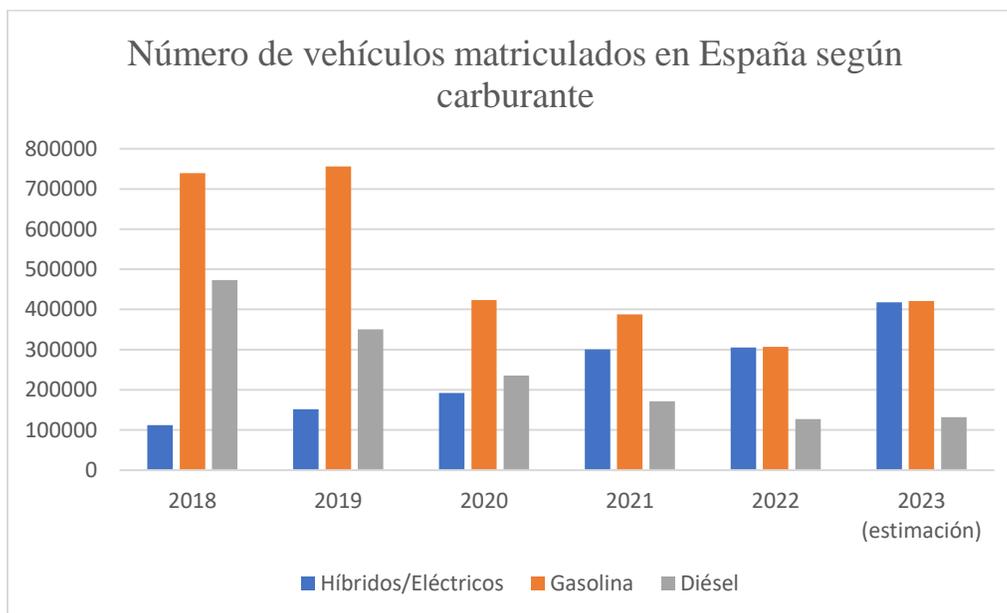


Figura 3: Vehículos matriculados anualmente en España según carburante (Elaboración propia con datos de Epdata [5])

Los datos se han obtenido de Epdata, una página especializada en datos estadísticos. Para el año 2023 se han extrapolado los datos de los meses de enero a mayo con el fin de realizar una estimación de los coches matriculados en este año.

En la siguiente figura se expone la variación de los vehículos matriculados en España.

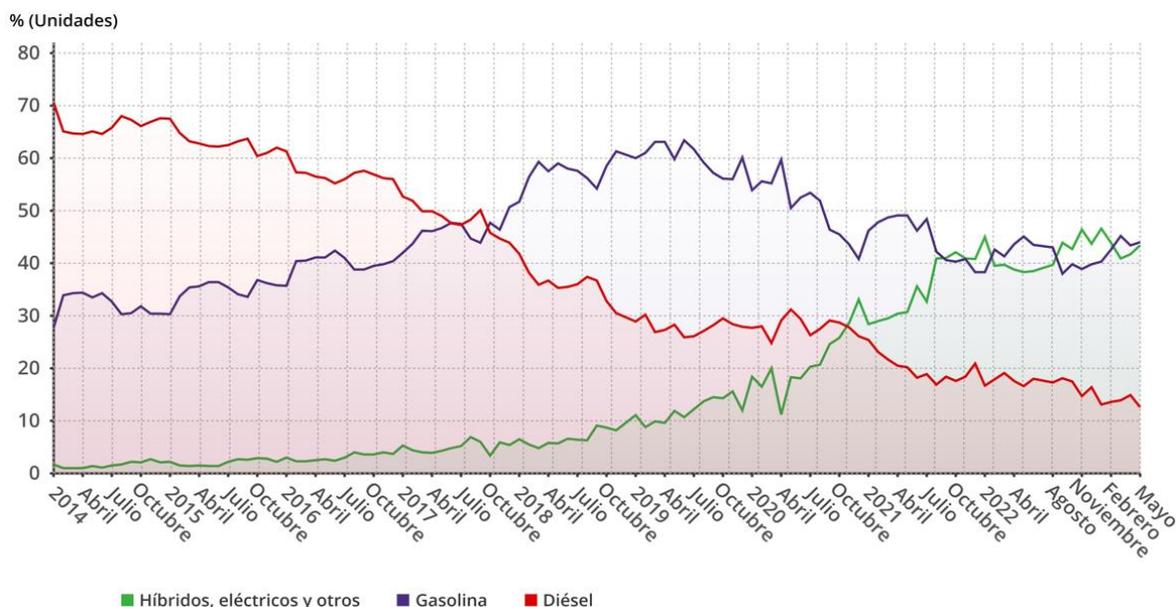


Figura 4: Variación de vehículos matriculados según el combustible [5]

Como se puede apreciar, el vehículo eléctrico e híbrido han igualado a los vehículos de gasolina (el cual también ha decaído) y ha superado por el doble a los vehículos diésel, los cuales en 2014 suponían la mayor parte de las matriculaciones de los vehículos con mucha ventaja.

Se puede observar una clara tendencia hacia el aumento de los vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de combustión. En los últimos años, ha habido un crecimiento significativo en la demanda y la producción de vehículos eléctricos, impulsado por diversos factores como la conciencia ambiental, los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales.

A nivel global, la tendencia y estimación de las ventas de los vehículos eléctricos es la siguiente:

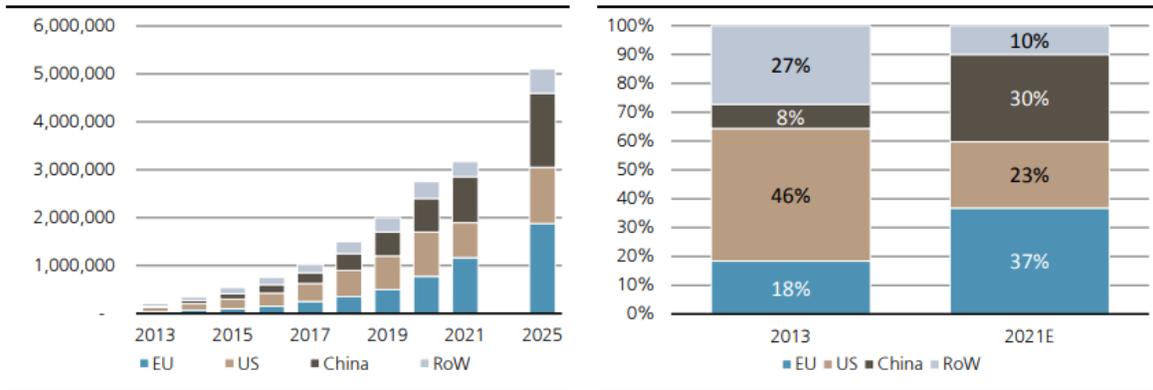


Figura 5: Tendencia y estimación de las ventas de vehículos eléctricos a nivel global [6]

Los vehículos eléctricos ofrecen beneficios clave, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la calidad del aire y la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles.

Por otro lado, los vehículos de combustión todavía dominan el mercado global, pero se espera que su participación disminuya gradualmente a medida que aumente la disponibilidad y la aceptación de los vehículos eléctricos. Sin embargo, los vehículos de combustión seguirán siendo relevantes en ciertos segmentos y regiones donde la infraestructura de carga de vehículos eléctricos aún está en desarrollo o donde las necesidades de larga distancia y carga pesada son prioritarias.

2.3 Comparativa de aspectos técnicos de los motores de combustión y eléctricos

En este apartado se realizará la comparación de los vehículos de combustión y eléctricos desde el punto de vista técnico. Por tanto, se incluirán aspectos como el peso, la autonomía, el consumo, la eficiencia, el mantenimiento, tiempo de recarga/repostaje.

2.3.1 Mantenimiento del vehículo

La diferencia fundamental entre un automóvil eléctrico y uno de combustión es clara: el primero utiliza electricidad almacenada en una batería para alimentar motores eléctricos y hacer girar las ruedas, mientras que el segundo utiliza la energía química liberada en la combustión del combustible para impulsar los pistones del motor.

Sin embargo, la idea central de este punto es que mecánicamente, un automóvil eléctrico es mucho más sencillo debido a su menor cantidad de componentes. Esto se traduce en un menor mantenimiento y menos probabilidades de averías. En resumen, los elementos principales de un automóvil eléctrico son los siguientes:

- Un cargador incorporado que convierte la corriente alterna del enchufe de casa o la estación de carga en corriente continua para cargar la batería.
- La batería de tracción: es el componente central de un vehículo eléctrico, donde se almacena la energía eléctrica. Estas funcionan con corriente continua. Las baterías de los vehículos eléctricos suelen ser de iones de litio y proporcionan la energía necesaria para alimentar el motor eléctrico.
- El inversor, que convierte la corriente continua de la batería en corriente alterna para impulsar el motor eléctrico.
- El motor eléctrico, que genera el movimiento a partir de la electricidad. En el mercado actual de motores. Los motores eléctricos pueden ser síncronos de imanes permanentes, síncronos de reluctancia o asíncronos. El tipo predominante es el motor síncrono de imanes permanentes, ya que es el más simple, ligero, silenciosos y es muy eficiente a bajas velocidades.

Algunas marcas incorporan más de un motor en el vehículo. Este es el caso de las marcas de mayor calidad, como el caso de Tesla, en el que se incorporan dos motores: uno por cada eje.

Los vehículos eléctricos constan además de una batería de baja tensión al igual que los vehículos de combustión. Esta batería está conectada a la batería de tracción del vehículo a través de un conversor. Este conversor DC/DC actúa como un transformador de voltaje, reduciendo la tensión de la batería principal (que generalmente es de alto voltaje, como 400V o más) a un voltaje más bajo, típicamente de 12V o 48V. Este voltaje reducido se utiliza para alimentar componentes como luces, sistemas de audio, sistemas de climatización, sistemas de dirección asistida, sistemas de frenado, entre otros.

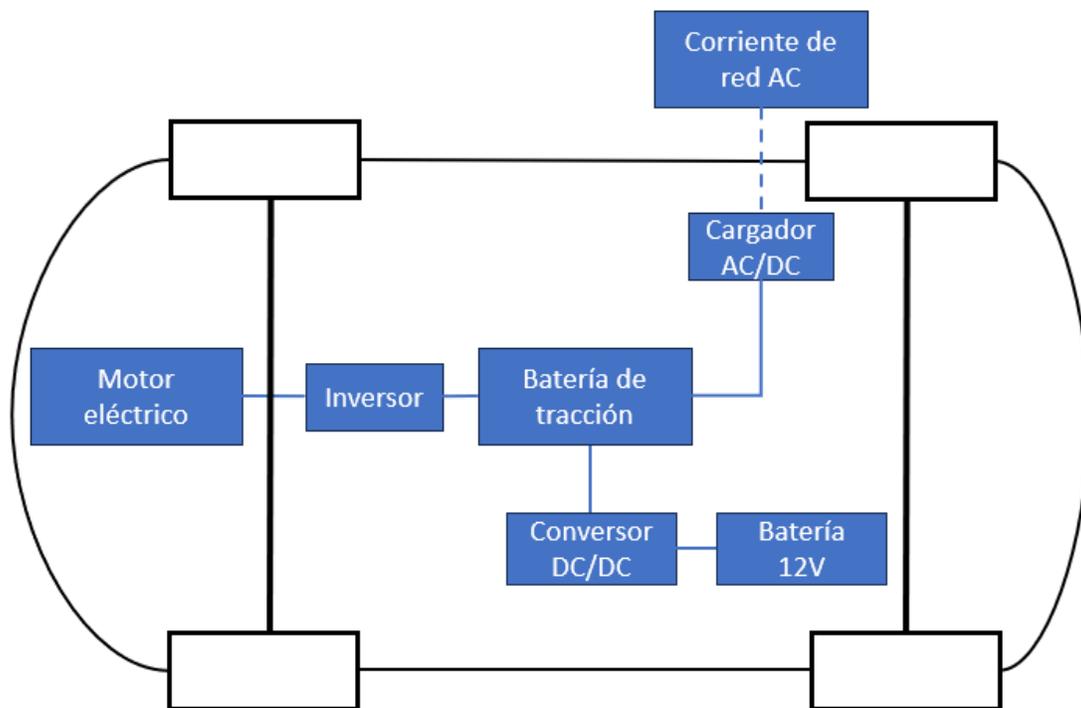


Figura 6: Esquema de los componentes principales del vehículo eléctrico (Elaboración propia)

Estos son los componentes principales que conforman el sistema interno de un automóvil eléctrico, en contraste con la ausencia de embrague, caja de cambios y otros sistemas complejos y propensos a averías, como el FAP, la EGR, inyectores, bujías, bobinas o calentadores presentes en los vehículos de combustión.

Si comparamos uno de los vehículos eléctricos más vendidos: el Peugeot e-208 con el mismo modelo de combustión Peugeot 208, la marca afirma que la sencillez de los componentes en el vehículo eléctrico puede conseguir hasta un 30% de ahorro en el mantenimiento del vehículo.

Aunque varía según el vehículo, un motor de combustión puede tener en torno a 30.000 piezas. Según el grupo PSA, en los vehículos eléctricos esto se reduce un 60%. Además, el vehículo eléctrico, que, como se ha comentado anteriormente, suele ser de imanes permanentes, cuenta con menos piezas móviles susceptibles al desgaste (principalmente el rotor). En los vehículos de combustión existen más piezas móviles que deben ser sustituidas, como la correa de distribución o las bujías en los vehículos de gasolina.

Respecto a la transmisión, en los vehículos eléctricos también es más sencilla. Estos cuentan con una sola marcha en la gran mayoría de los casos (a excepción de algún caso puntual, como el Porsche Taycan). Esto quiere decir que se reduce el número de piezas mecánicas, no tienen caja de cambios y tampoco embrague.

La sección anterior da lugar a la siguiente distinción: el mantenimiento de un automóvil eléctrico es más sencillo. Sin embargo, esto no implica que no se deban realizar revisiones periódicas, como en cualquier otro automóvil, ya que al igual que uno con motor de combustión interna, tiene un sistema de frenado con necesidades similares, filtros como el del habitáculo, en algunos casos un sistema de refrigeración con su propia bomba y líquido para regular la temperatura de la batería, y un sistema de suspensión con componentes como silentblocks o amortiguadores similares.

Por otro lado, aunque el mantenimiento es más fácil y se puede llevar a cabo en casi cualquier taller, la situación cambia cuando se trata de una avería. No porque la reparación sea necesariamente más costosa, sino porque se requieren conocimientos específicos para interactuar con el sistema eléctrico de alto voltaje que no todos los talleres poseen. Además, en estos automóviles eléctricos, la gestión electrónica tiene una importancia aún mayor. Sin embargo, esto no significa que sean menos confiables, todo lo contrario. Como mencionamos antes, tienen menos componentes y técnicamente no son más complejos, sino diferentes.

2.3.2 Comparación de la autonomía

Un factor preocupante en el cambio a la movilidad eléctrica es la autonomía. Esto se debe a que los vehículos eléctricos cuentan con una autonomía notoriamente inferior a los vehículos convencionales.

Aunque las marcas se encuentran en un período de mejora en este aspecto, hoy en día se encuentran lejos de igualar las autonomías de los vehículos convencionales.

Los problemas de la baja autonomía para los usuarios son dos principalmente:

- Una necesidad mayor de repostaje/recarga más frecuente, que puede resultar más incómodo para el usuario e incluso menos viable económicamente si es necesario desplazarse hasta un punto de recarga lejano.
- La obligación de gestionar los viajes largos con antelación: es necesaria una planificación estratégica de los viajes que se adecúe a la autonomía del vehículo y la distribución de los puntos de recarga.

2.3.2.1 Autonomía Real y Autonomía Homologada WLTP

Autonomía WLTP y NEDC

Un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de la valoración de un vehículo eléctrico es la autonomía publicada en la ficha técnica. Esta autonomía se conoce como autonomía eléctrica WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures) que en castellano sería “Ciclo de homologación de consumo y emisiones”.

Esta homologación es la utilizada en la actualidad en Europa desde el 1 de septiembre del 2018. Anteriormente se utilizaba el NEDC (New European Driving Cycle), pero debido a los desajustes obtenidos en los resultados (con respecto a la autonomía real), ya no se utiliza.

Las diferencias entre la autonomía WLTP y NEDC son significantes y reflejan un enfoque más preciso y realista en la medición de la autonomía de los vehículos.

El NEDC fue el ciclo de pruebas utilizado durante muchos años para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los vehículos, incluida su autonomía. Sin embargo, se consideró que el NEDC no representaba de manera precisa las condiciones de conducción reales y quedó obsoleto debido a los avances tecnológicos y al cambio en las preferencias del consumidor.

El WLTP se introdujo como un reemplazo del NEDC y se diseñó para proporcionar mediciones más precisas y realistas de la autonomía de los vehículos. A continuación, se presentan algunas de las diferencias clave entre ambos:

- **Ciclo de conducción:** El NEDC consta de un ciclo de conducción teórico que incluye una serie de fases, como arranques en frío, conducción urbana y en carretera. El WLTP, por otro lado, utiliza un ciclo de conducción más dinámico y representativo de las condiciones reales de conducción, con velocidades más altas, aceleraciones y desaceleraciones más realistas, y un perfil de conducción más diverso.
- **Duración y distancia:** El NEDC tiene una duración de aproximadamente 20 minutos y una distancia recorrida de aproximadamente 11 kilómetros. En contraste, el ciclo WLTP tiene una duración de alrededor de 30 minutos y una distancia recorrida de aproximadamente 23.3 kilómetros.
- **Condiciones ambientales:** El WLTP tiene en cuenta una gama más amplia de condiciones ambientales, como temperaturas extremas, para evaluar el rendimiento del vehículo y su autonomía en diferentes situaciones. El NEDC no consideraba adecuadamente estos factores, lo que llevaba a discrepancias significativas entre la autonomía medida y la autonomía experimentada en la conducción real.
- **Mayor precisión:** El WLTP se considera más preciso que el NEDC, ya que utiliza mediciones y simulaciones más avanzadas para evaluar la autonomía de los vehículos. Esto permite a los consumidores tener una mejor idea de la autonomía real que pueden esperar en condiciones de conducción cotidianas.

En resumen, el WLTP representa una mejora significativa sobre el NEDC al proporcionar mediciones más realistas y precisas de la autonomía de los vehículos. Esta transición ha sido necesaria para brindar a los consumidores información más confiable al tomar decisiones de compra y comprender mejor el rendimiento y la eficiencia de los vehículos en el mundo real.

Modelo	NEDC	WLTP	Variación
Smart ForTwo	159 km	133 km	83,65%
Hyundai Ioniq	280 km	204 km	72,86%
VW e-Golf	300 km	230 km	76,67%
BMW i3	359 km	310 km	86,35%
Nissa Leaf	378 km	285 km	75,40%
Opel Ampera-e	520 km	380 km	73,08%
Tesla Model 3	632 km	593km	93,83%

Figura 7: Variación autonomía NEDC vs WLTP (Elaboración propia)

Como se refleja en la tabla, los resultados con la WLTP son más realistas que los NEDC, siendo en torno a un 80% de la autonomía, lo que supone un cambio significativo.

La autonomía WLTP por tanto, puede dar una mejor idea de la autonomía real del vehículo, pero también es superior a la real. Por tanto, se puede tomar como referencia, pero es importante conocer cómo se obtiene este dato de autonomía WLTP y cuáles son los factores que la diferencian de la autonomía real.

Para ilustrar la gran diferencia entre las autonomías según los dos métodos, se ha realizado la siguiente gráfica, en las que se tienen en cuenta los 50 vehículos eléctricos más vendidos en Europa en el año 2021. En este año ya está vigente la WLTP. Para hallar las autonomías que hubiesen tenido según la NDEC se ha estimado un 20% más que el de la WLTP.

Para realizar la comparación posteriormente con los vehículos de combustión, se utilizará la WLTP, ya que es la más cercana a la autonomía real.

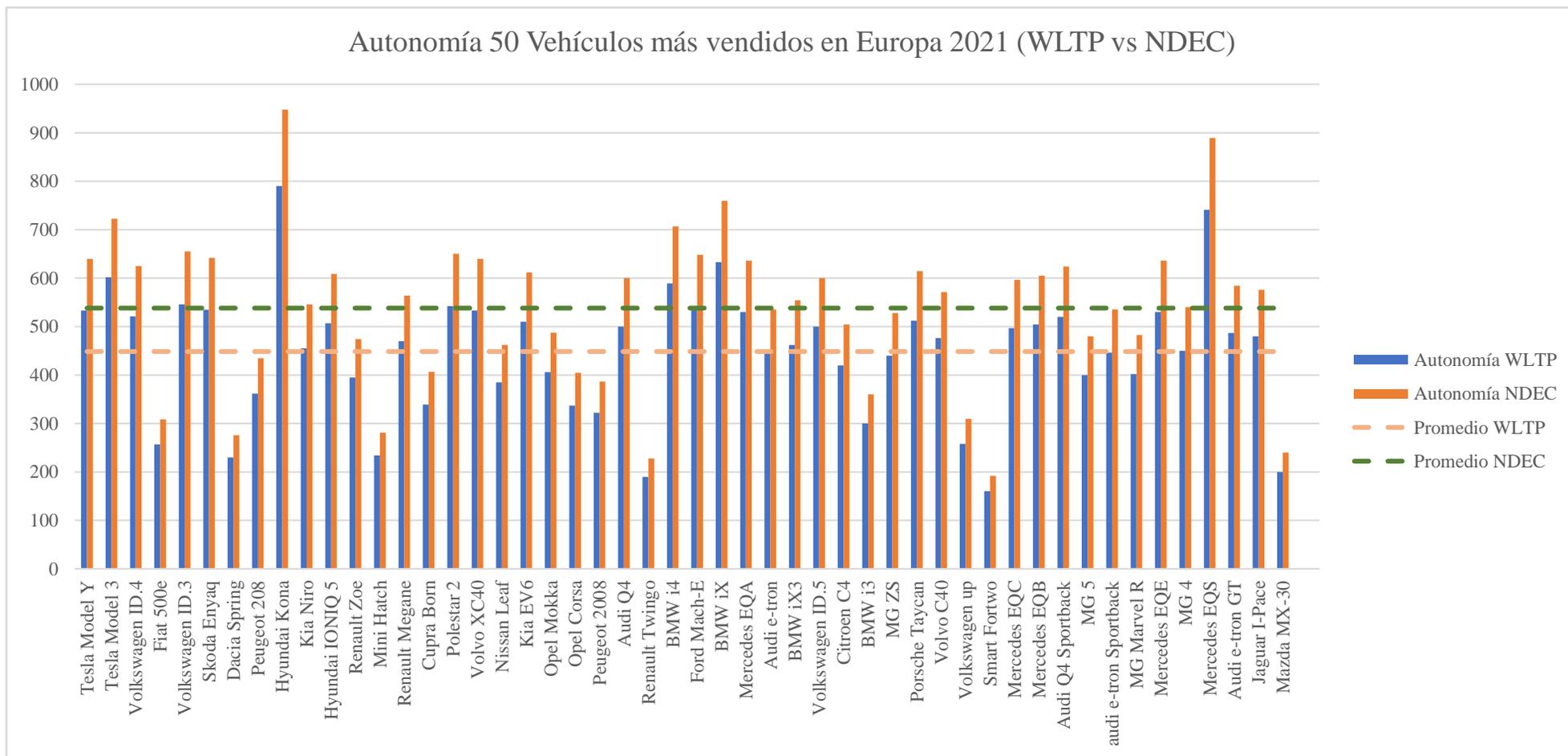


Figura 8: Autonomía vehículos eléctricos más vendidos 2021 WLTP vs NEDC (Elaboración propia)

Como se puede apreciar en la Figura 5, la media no llega a 550 km. Aunque la media no es excesivamente baja, tampoco es suficiente para realizar la gran mayoría de viajes largos en España. Además, como se ha comentado en este apartado, esta autonomía puede variar debido a algunos factores.

Como se aprecia en la siguiente figura, la temperatura es un factor clave en el cálculo de la autonomía de los vehículos eléctricos. Además, la velocidad es también influyente en esta, habiendo menos autonomía a velocidades altas.

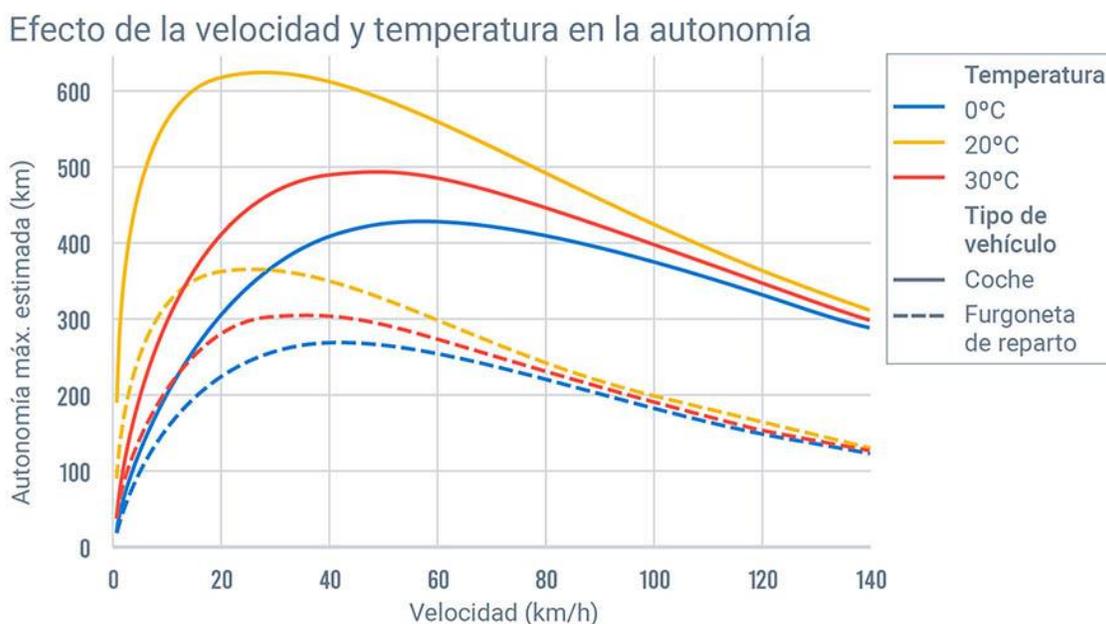


Figura 9: Influencia de la velocidad y la temperatura en la autonomía de los vehículos eléctricos [7]

Si estudiamos la situación de los viajes de largas distancias, la autonomía será probablemente lejana a la autonomía máxima del vehículo, ya que en las autovías se suele llevar una velocidad de 120 km/h aproximadamente.

Esto es un factor distinto en los vehículos de combustión, pues a dichas velocidades la autonomía suele ser mayor (suponiendo una situación de conducción relativamente eficiente sin excesivos cambios de aceleración).

Además, como se aprecia en la Figura 6, los vehículos eléctricos ven afectada claramente su autonomía con la temperatura. La autonomía máxima se obtiene con una temperatura de 20 °C. Sin embargo, en temperatura de 30°C y 0°C, la autonomía se ve claramente afectada. Estas temperaturas se alcanzan en España cada año, por lo que hay que tener en cuenta que la autonomía será diferente según la temporada del año.

Respecto a lo vehículos de combustión, su autonomía también puede variar por diversos factores como el estado de la vía, las condiciones climáticas, el relieve del terreno, la velocidad, la presión de los neumáticos y la forma de conducir influyen en el rendimiento del vehículo. Sin embargo, suele ser menos variable que los vehículos eléctricos. Para comparar las autonomías se ha realizado un análisis de los modelos más utilizados, tanto de diésel como gasolina. De cada modelo, se ha estimado su consumo medio en base a su consumo máximo y mínimo. En base a dicho consumo, conociendo el tamaño del depósito se ha estimado una autonomía máxima. Hay que destacar que estas autonomías son aproximadas. Por tanto, se ha dibujado un rango con las autonomías mínimas, medias y máximas, para realizar una comparación más realista.

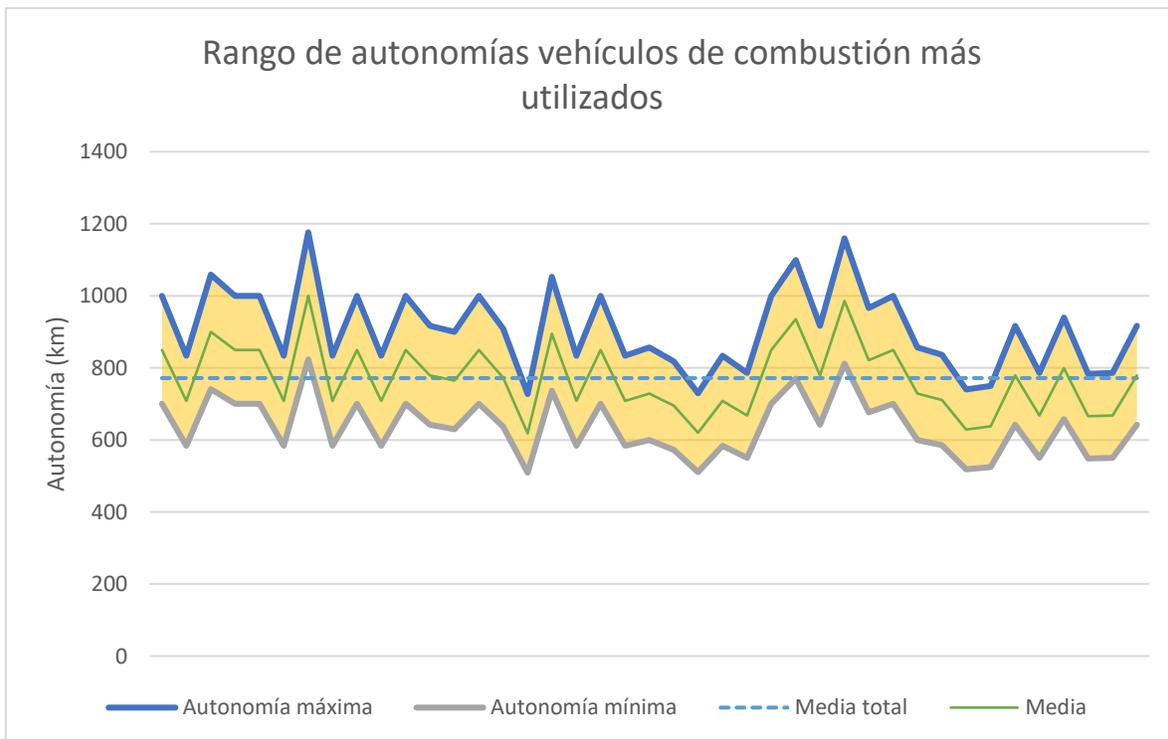


Figura 10: Estimación de la autonomía media de los vehículos de combustión (Elaboración propia)

Al comparar las figuras 5 y 7 se llega a la conclusión de que los vehículos eléctricos tienen una autonomía bastante inferior y menos fiable, debido a la gran influencia de los factores externos.

Degradación de la batería con el tiempo

La degradación de la batería es un fenómeno que ocurre en los vehículos eléctricos debido al uso y el paso del tiempo. A medida que se utilizan y se recargan las baterías, pueden experimentar una disminución gradual de su capacidad de retener energía, lo que se conoce como degradación de la batería.

En los vehículos eléctricos, la degradación de la potencia es rara debido a que las baterías pueden proporcionar más potencia de la que los componentes del grupo motopropulsor pueden manejar. Por lo tanto, el enfoque principal es la pérdida de capacidad de almacenamiento de energía de la batería.

El estado de una batería se refiere a las condiciones en las que se encuentra. Al comienzo de su vida útil, una batería tiene un estado del 100%, pero con el tiempo se degrada. El estado de la batería es una medida de la cantidad de energía que puede suministrar en kilovatios hora (kWh).

El estado de la batería no es lo mismo que la autonomía del vehículo, que puede variar diariamente o en cada trayecto debido a diversos factores como el nivel de carga, la topografía, la temperatura, el uso de dispositivos auxiliares, los hábitos de conducción, los pasajeros o la carga del vehículo, como se ha expresado en el apartado anterior.

La degradación de la batería puede ser causada por varios factores, incluyendo:

- Ciclos de carga y descarga: Cada vez que una batería se carga y descarga, sufre un pequeño desgaste. Cuantos más ciclos de carga y descarga se realicen, mayor será la degradación de la batería.
- Temperatura: Las altas temperaturas pueden acelerar la degradación de la batería. El calor excesivo puede dañar las celdas de la batería y reducir su capacidad con el tiempo.
- Carga rápida: Las cargas rápidas, especialmente cuando se realizan de forma frecuente, pueden ejercer estrés adicional en la batería y contribuir a su degradación.

La mayoría de los fabricantes de vehículos eléctricos ofrecen garantías de batería que cubren una cierta cantidad de años o un número determinado de kilómetros recorridos antes de que la capacidad de la batería alcance un nivel predefinido de degradación. Estas

Para minimizar la degradación de la batería, se recomienda seguir las pautas del fabricante en cuanto al uso y la carga del vehículo, evitar exposiciones prolongadas a temperaturas extremas y realizar un mantenimiento adecuado de la batería.

Estas pautas de los fabricantes tienen suelen ser las siguientes:

- Evitar cambios bruscos de temperatura.

El calor y el frío extremo son perjudiciales para las baterías de los vehículos eléctricos. Las baterías de iones de litio alcanzan su máximo rendimiento en un rango de temperatura específico, generalmente alrededor de 15 a 25 grados Celsius. Para proteger el rendimiento de la batería, se recomienda estacionar el vehículo en un lugar fresco para evitar altas temperaturas.

- No cargar ni descargar por completo la batería.

Evitar agotar por completo la batería de un vehículo eléctrico ayuda a prolongar su vida útil. Se recomienda cargar el vehículo cuando el nivel de la batería esté alrededor del 15% al 20%. Además, cargar la batería hasta su capacidad máxima en cada ocasión no es recomendable. Es mejor limitar la carga alrededor del 80% para preservar la capacidad máxima de la batería durante más tiempo.

- Utilizar cargadores de carga lenta.

Evitar el uso frecuente de estaciones de carga rápida de alto voltaje y corriente continua, ya que generan calor que puede dañar la batería y reducir su vida útil. Es preferible recargar la batería con un cargador específico para vehículos eléctricos y con una carga lenta. Si se carga el vehículo tan pronto como se estaciona, los sistemas de refrigeración de la batería ayudarán a su conservación óptima.

Para evitar los extremos en la batería, algunos fabricantes han añadido un buffer en la batería que protege los extremos de la batería con el fin de mejorar su estado a lo largo de los años.

El buffer en la batería de un vehículo eléctrico cumple varias funciones importantes:

- **Protección de la batería:** El buffer permite evitar que la batería se descargue completamente o se cargue completamente hasta su capacidad máxima. Al mantener un margen de capacidad sin utilizar, se protege la batería de situaciones extremas que podrían dañarla, como una descarga excesiva o una sobrecarga.
- **Gestión térmica:** El buffer también se puede utilizar para ayudar a regular la temperatura de la batería. Al dejar una porción de capacidad sin utilizar, se reduce la carga de trabajo de la batería, lo que ayuda a mantenerla en un rango de temperatura óptimo. Esto contribuye a preservar la vida útil de la batería y a mantener un rendimiento eficiente.
- **Mejora de la vida útil:** Al no utilizar la capacidad máxima de la batería en cada ciclo de carga y descarga, se reduce el estrés en la batería y se prolonga su vida útil. Al proporcionar un margen de capacidad adicional, se evita el uso constante de la capacidad máxima de la batería, lo que puede contribuir a una degradación más rápida.

El funcionamiento de buffer es el siguiente.

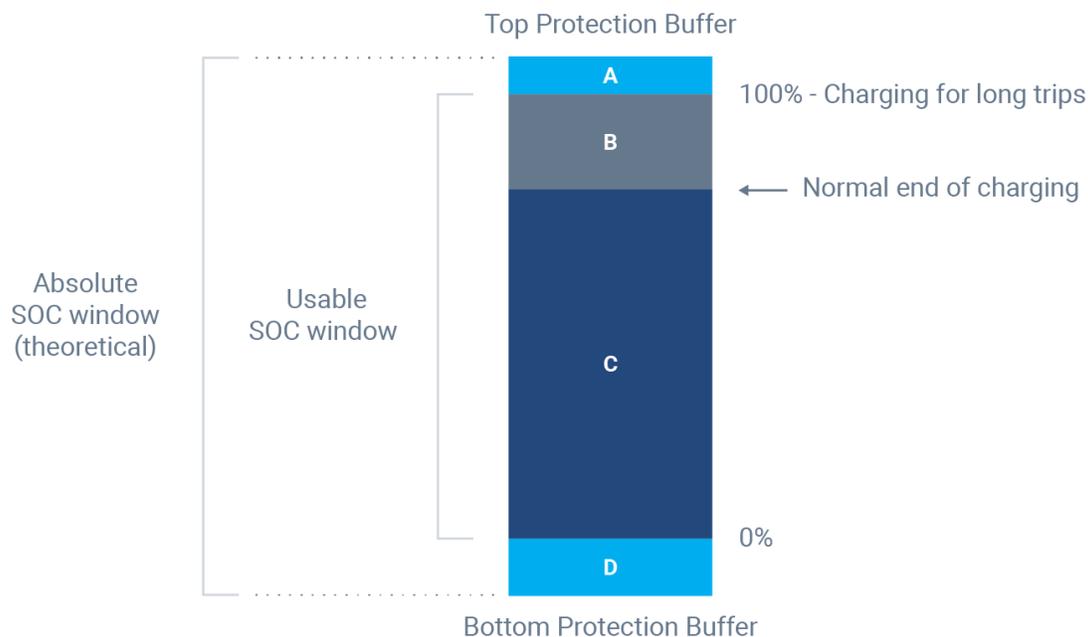


Figura 11: Funcionamiento buffer batería vehículos eléctricos [8]

De este modo, el buffer en la batería de un vehículo eléctrico actúa como un margen de capacidad adicional que se reserva y no se utiliza normalmente. Su función principal es proteger la batería, regular la temperatura y mejorar su vida útil.

Teóricamente, la degradación de las baterías de los vehículos eléctricos es no lineal, siguiendo la siguiente curva:

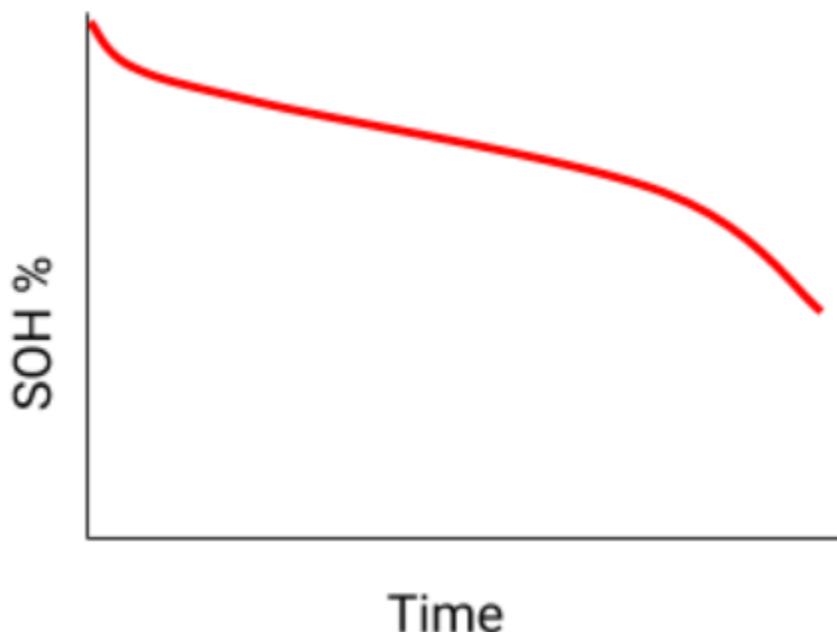


Figura 12: Forma de la degradación de la batería con el tiempo [7]

Sin embargo, según un estudio de 6000 baterías de vehículos eléctricos muestra que la degradación media de las baterías se puede aproximar por un 2,3% anual. Sin embargo, la degradación ideal, es decir, bajo temperatura y recarga ideales, es del 1,6% anual.

La mayoría de las marcas garantizan el al menos el 70% de la salud de la batería durante ocho años o 160.000 km. Sin embargo, fuera de este período no existen garantías de la batería y es posible que sea necesario cambiarla.

Los fabricantes de automóviles aseguran que la vida útil de un vehículo eléctrico está entre los 15 y 25 años. Por tanto, en el caso más pesimista, se podría llegar a cambiar la batería del vehículo un total de dos veces, es decir, tres baterías en la vida útil de un vehículo eléctrico. En el caso más optimista, dos baterías pueden bastar en la vida útil del vehículo.

2.3.3 Comparación del consumo

En este apartado se va a comparar el consumo de los vehículos eléctricos frente a los de combustión. Para ello, se pasarán los consumos analizados en el apartado de la comparación de las autonomías a kWh/km.

Esta conversión se realiza con el poder calorífico del combustible (gasolina o diésel) por cada litro. El poder calorífico de la gasolina varía según los siguientes factores:

- **Composición química:** La composición exacta de los hidrocarburos presentes en la gasolina y el diésel puede variar, lo que afecta su poder calorífico. Los hidrocarburos pueden tener diferentes estructuras moleculares y proporciones relativas de carbono e hidrógeno, lo que influye en la cantidad de energía liberada durante la combustión.
- **Densidad:** La densidad de la gasolina y el diésel, es decir, la masa de combustible por unidad de volumen, puede variar. Una mayor densidad puede indicar una mayor concentración de energía y, por lo tanto, un mayor poder calorífico.
- **Contenido de azufre:** El contenido de azufre en la gasolina y el diésel puede afectar su poder calorífico. El azufre actúa como un contaminante y reduce la calidad del combustible. Los combustibles con bajo contenido de azufre suelen tener un mayor poder calorífico.
- **Proceso de refinación:** Los procesos utilizados en la refinación de la gasolina y el diésel, como la destilación y el craqueo, pueden influir en su poder calorífico. Los diferentes métodos de refinación y purificación pueden afectar la composición química y, por lo tanto, el poder calorífico del combustible resultante.
- **Estándares y mezclas regionales:** Los estándares y regulaciones locales pueden influir en la composición y calidad de la gasolina y el diésel. Algunas regiones pueden tener

requisitos específicos sobre la calidad del combustible y el contenido de aditivos. Además, las mezclas estacionales pueden ajustarse para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y mantener el rendimiento del motor, lo que también puede afectar el poder calorífico.

Por tanto, en este estudio se va a realizar una estimación fija del poder calorífico de estos combustibles. Para el diésel se va a estimar un poder calorífico de 43 MJ/kg y para la gasolina, 45 MJ/kg.

El objetivo es obtener el poder calorífico de los combustibles en kWh/L. La fórmula sería la siguiente:

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{L}} \right) = \text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) \cdot \text{Densidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3,6 \text{ MJ}}$$

	Poder calorífico (MJ/kg)	Densidad (kg/m ³)	Poder calorífico (MJ/L)	Poder Calorífico (kWh/L)
Diésel	43	840	36,12	10,03
Gasolina	45	730	32,85	9,12

Figura 13: Cálculo del poder calorífico por combustible (Elaboración propia)

Aplicando la fórmula descrita y estimando valores normales de las densidades de los combustibles, se obtienen los valores del poder calorífico en kWh por litro de combustible.

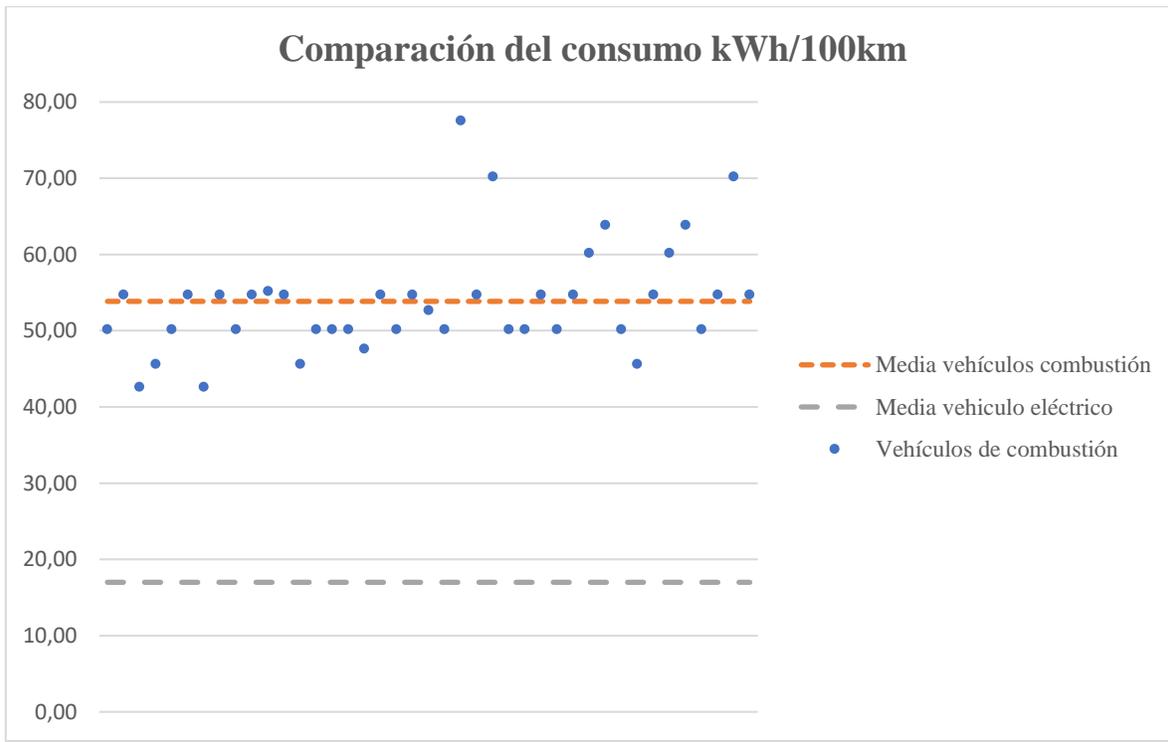
A continuación, para calcular el consumo del vehículo en kWh/100km, hay que multiplicar el valor correspondiente de cada vehículo (según su combustible) por su consumo en L/100km.

A continuación, se muestran los consumos de los 25 vehículos más comunes en España en versión gasolina y diésel. Este consumo es el utilizado en el apartado de la comparación de la autonomía. En este caso, se incluye el consumo en kWh-100km obtenido con el cálculo del poder calorífico mencionado.

Modelo	Combustible	Depósito (L)	Consumo urbano (L/100km)	Consumo carretera (L/100km)	Consumo medio (L/100km)	Consumo (kWh/100km)
Volkswagen Golf	Diésel	50	6	4	5	50,17
	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Peugeot 208	Diésel	45	5	3,5	4,25	42,64
	Gasolina	50	6	4	5	45,62
Dacia Sandero	Diésel	50	6	4	5	50,17
	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Renault Clio	Diésel	50	5	3,5	4,25	42,64
	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Peugeot 2008	Diésel	50	6	4	5	50,17
	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Volkswagen T-Roc	Diésel	55	7	4	5,5	55,18
	Gasolina	55	7	5	6	54,75
Toyota Yaris	Gasolina	45	6	4	5	45,62
Opel/Vauxhall Corsa	Diésel	50	6	4	5	50,17
	Gasolina	50	7	4	5,5	50,19
FIAT 500	Gasolina	40	7	4	5,5	50,19
Citroën C3	Diésel	50	5,5	4	4,75	47,66
	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Renault Captur	Diésel	50	6	4	5	50,17
	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Volkswagen Polo	Diésel	45	6	4,5	5,25	52,67
	Gasolina	45	7	4	5,5	50,19
Hyundai Tucson	Gasolina	62	10	7	8,5	77,56
Toyota Corolla	Gasolina	50	7	5	6	54,75
Dacia Duster	Diésel	55	8	6	7	70,23
	Gasolina	55	6	5	5,5	50,19
Skoda Octavia	Diésel	55	6	4	5	50,17
	Gasolina	55	7	5	6	54,75
Peugeot 3008	Diésel	58	6	4	5	50,17
	Gasolina	58	7	5	6	54,75
Volkswagen Tiguan	Diésel	60	7	5	6	60,20
	Gasolina	60	8	6	7	63,87
Ford Puma	Gasolina	46	6	5	5,5	50,19
FIAT Panda	Gasolina	37	6	4	5	45,62
Volkswagen T-Cross	Gasolina	45	7	5	6	54,75
Volvo XC40	Diésel	55	7	5	6	60,20
	Gasolina	55	8	6	7	63,87
Mercedes Clase A	Diésel	47	6	4	5	50,17
	Gasolina	47	7	5	6	54,75
BMW Serie 3	Diésel	55	8	6	7	70,23
	Gasolina	55	7	5	6	54,75

Figura 14: Consumo de los vehículos de combustión en kWh/100km (Elaboración propia)

A continuación, para observar gráficamente los consumos y realizar la comparación con los vehículos eléctricos, se adjunta la siguiente gráfica.



Dado que el consumo de un vehículo eléctrico se encuentra entre 15 y 20 kWh por cada 100 km, se ha estimado una media de 17 kWh/100km. De este modo, se tiene que aproximadamente el vehículo de combustión consume 3,16 veces lo que consume el vehículo eléctrico.

Esto quiere decir que, para una misma cantidad de energía, los vehículos eléctricos son capaces de recorrer más kilómetros, o lo que es lo mismo, para una determinada cantidad de kilómetros, se necesita menor cantidad de energía. Sin embargo, dado que los vehículos de combustión pueden almacenar en el depósito mayor cantidad de kWh (convirtiendo los L del combustible a kWh), tienen mayor autonomía que los vehículos eléctricos, como hemos comprobado en el apartado anterior.

En la siguiente figura se muestra gráficamente la explicación del párrafo anterior.



Figura 15: Comparación del consumo energético en 100 km (Elaboración propia)

El hecho de que los vehículos eléctricos consuman menor energía para una cantidad de kilómetros recorridos implica que estos tienen una mayor eficiencia. Los aspectos claves que contribuyen a una mejor eficiencia son:

- **Eficiencia de conversión de energía:** Los motores eléctricos de los vehículos eléctricos son inherentemente más eficientes en la conversión de energía en comparación con los motores de combustión interna. Los motores eléctricos tienen una mayor eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, lo que se traduce en menos pérdidas de energía durante la propulsión del vehículo. Por otro lado, los motores de combustión interna tienen limitaciones inherentes en términos de eficiencia térmica y pérdidas de energía debido a la combustión y la generación de calor residual.
- **Eficiencia del sistema de propulsión:** Los vehículos eléctricos también son más eficientes en la transferencia de energía desde la fuente de energía (la batería) al sistema de propulsión (el motor). Las pérdidas de energía en los sistemas de transmisión y en el tren motriz son menores en los vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de combustión interna, que tienen más componentes mecánicos y pérdidas de fricción.

2.3.4 Comparación de las emisiones

En este apartado se compararán las emisiones de los vehículos eléctricos y de combustión. Comúnmente, se da por hecho que los vehículos eléctricos no generan emisiones. Sin embargo, esto no es verdad, ya que es necesario estudiar el origen de la energía que recargan estos vehículos y su ciclo de vida entero.

El ICCT (International Council of Clear Transportation) ha realizado un análisis exhaustivo del ciclo de vida de los dos tipos de vehículos, tanto los de gasolina como los eléctricos, considerando todas las etapas, desde la extracción de los materiales clave utilizados en las baterías hasta la fabricación de los propios automóviles. Además, han llevado a cabo este estudio teniendo en cuenta los cuatro principales mercados globales (Europa, Estados Unidos con Canadá, China e India), para luego comparar todos los datos recopilados y determinar las emisiones promedio en todo el mundo al final del ciclo de vida de ambos tipos de vehículos.

Según este estudio realizado, efectivamente, los vehículos eléctricos no están exentos de emisiones durante su ciclo de vida, aunque presentan significativamente menos emisiones.

El ICCT respalda su conclusión afirmando que, a lo largo de todo el ciclo de vida, los vehículos eléctricos con baterías emiten significativamente menos gases de efecto invernadero. Como se muestra en la siguiente figura, las emisiones a lo largo de la vida útil de los automóviles eléctricos de tamaño medio que se encuentran actualmente en el mercado son considerablemente inferiores en comparación con los vehículos de gasolina equivalentes, con una reducción del 66% al 69% en Europa, del 60% al 68% en los Estados Unidos, del 37% al 45% en China y del 19% al 34% en la India. Además, a medida que la generación de electricidad continúa su proceso de descarbonización, la diferencia en las emisiones entre los vehículos eléctricos y los de gasolina aumentará significativamente al final de su ciclo de vida.

En la siguiente figura se muestra la comparación de emisiones entre los vehículos eléctricos y de combustión contando su fabricación, mantenimiento y consumo. En la figura se compara el 2021 frente a la estimación en 2030 en los distintos mercados mundiales.

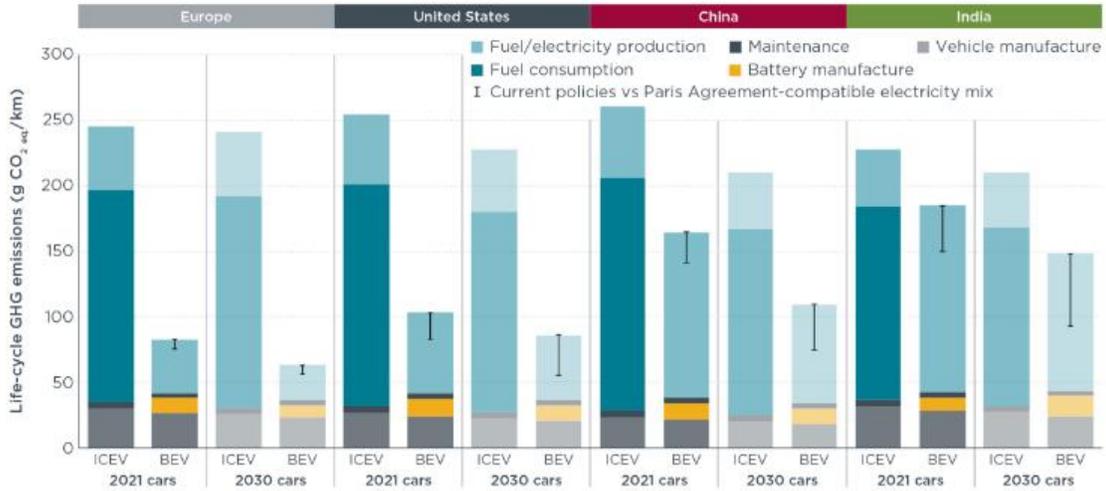


Figura 16: Comparación de emisiones del ciclo de vida de vehículos eléctricos vs combustión [9]

Siendo ICEV los vehículos de combustión interna y BEV los vehículos eléctricos. Se aprecia claramente la diferencia significativa de emisiones. En India, la diferencia es menor debido a la procedencia de la energía, pues dependen más de los combustibles fósiles.

2.4 Análisis de las materias primas críticas

En este apartado se analizarán las materias primas críticas de los vehículos eléctricos. Para ello, es necesario conocer cuáles son las materias primas principales de los vehículos eléctricos y si están son muy diferentes a las utilizadas convencionalmente en la fabricación de los vehículos de combustión.

Dado que el componente más importante e innovador de los vehículos eléctricos es la batería, es lógico comenzar el análisis de las materias primas por este componente. Como se ha mencionado anteriormente, los vehículos eléctricos poseen dos baterías, la de tracción y la convencional. Dado que la convencional es similar a la de los vehículos de combustión, este apartado se centrará en las baterías de tracción.

2.4.1 Tipos de baterías de tracción en los vehículos eléctricos

A continuación, se muestran las baterías de tracción más utilizadas en los vehículos eléctricos, así cómo su composición, ventajas y desventajas.

2.4.1.1 Baterías de ion-litio

Estas baterías son las más utilizadas en la movilidad eléctrica actualmente.

Se componen de:

- **Ánodo:** El ánodo de una batería de ion de litio generalmente está hecho de grafito o un compuesto de grafito, como el grafito artificial. El ánodo es el electrodo negativo de la batería y actúa como el lugar donde los iones de litio se almacenan durante la carga.
- **Cátodo:** El cátodo de una batería de ion de litio generalmente está compuesto de óxidos metálicos, como el óxido de cobalto, el óxido de níquel-manganeso-cobalto (NMC), el óxido de níquel-cobalto-aluminio (NCA) o el fosfato de hierro-litio (LiFePO_4). El cátodo es el electrodo positivo de la batería y es donde los iones de litio se mueven durante la descarga.

- **Electrolito:** El electrolito de una batería de ion de litio es una solución que permite el flujo de iones de litio entre el ánodo y el cátodo. El electrolito es generalmente una sal de litio disuelta en un solvente orgánico.
- **Separador:** El separador es una capa delgada y porosa que se encuentra entre el ánodo y el cátodo de la batería para evitar el cortocircuito y permitir el flujo de iones de litio. El separador suele estar hecho de materiales poliméricos.
- **Envoltura:** La envoltura o carcasa de la batería protege los componentes internos de la batería y evita fugas o daños externos. La envoltura suele estar hecha de materiales como polímeros termoplásticos.

El esquema sería el siguiente:

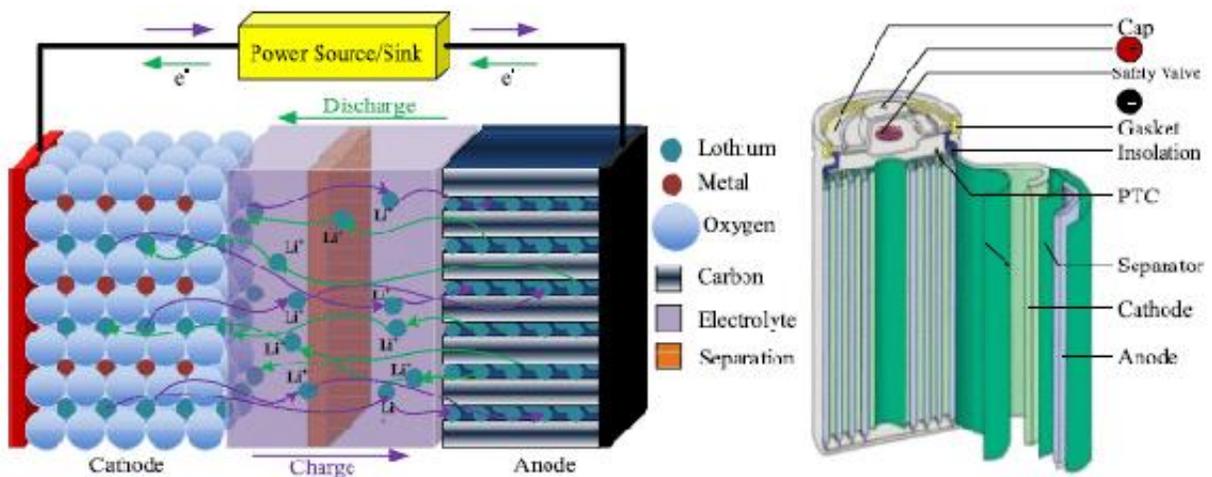


Figura 17: Esquema de una batería ión-litio [10]

Las baterías de ion-litio tienen varias ventajas respecto a otras baterías:

- **Alta densidad de energía:** Las baterías de ion-litio tienen una alta densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar una gran cantidad de energía en relación con su peso y tamaño. Esto permite que los vehículos eléctricos tengan una mayor autonomía y rendimiento.
- **Baja autodescarga:** Las baterías de ion-litio tienen una baja tasa de autodescarga, lo que significa que pierden menos energía cuando no están en uso. Esto evita la pérdida de energía durante períodos de almacenamiento y garantiza que la batería esté lista para su uso cuando se necesite.
- **Ciclo de vida prolongado:** Las baterías de ion-litio tienen una vida útil más larga en comparación con otros tipos de baterías recargables. Pueden soportar cientos de ciclos de carga y descarga sin perder significativamente su capacidad de almacenamiento de energía.
- **Mayor eficiencia de carga:** Las baterías de ion-litio tienen una alta eficiencia de carga, lo que significa que pueden absorber y retener la energía de manera más eficiente durante el proceso de carga. Esto reduce el tiempo de carga y maximiza la utilización de la energía suministrada.

Sin embargo, también tienen una serie de desventajas:

- **Coste inicial elevado:** Las baterías de ion-litio tienden a ser más costosas en comparación con otros tipos de baterías. Esto puede influir en el precio de compra de los vehículos eléctricos y en su accesibilidad para algunos consumidores.
- **Riesgo de sobrecalentamiento:** Las baterías de ion-litio pueden generar calor durante la carga y descarga intensiva. Si no se manejan adecuadamente, esto puede resultar en el sobrecalentamiento de la batería e incluso en riesgo de incendio. Sin embargo, las baterías modernas están equipadas con sistemas de gestión térmica para mitigar este riesgo.
- **Impacto ambiental:** La extracción y producción de los materiales utilizados en las baterías de ion-litio pueden tener un impacto ambiental significativo. La minería de litio y otros componentes puede causar degradación ambiental y problemas sociales

en las áreas donde se realiza. Este aspecto de las baterías de litio se estudiará posteriormente en este proyecto.

- **Necesidad de refrigeración:** Las baterías de ion-litio requieren sistemas de enfriamiento para mantener su temperatura dentro de límites seguros. Esto puede agregar complejidad y costos adicionales al diseño y fabricación de los vehículos eléctricos.

2.4.1.2 Baterías de ion-polímero de litio

Estas baterías son muy similares a las de las baterías ion-litio. En este caso, utilizan un electrolito en forma de gel o polímero en lugar de un electrolito líquido. Esto permite diseños más delgados y flexibles, lo que las hace adecuadas para vehículos con formas y tamaños no convencionales.

Estas baterías tienen un ciclo de vida menor, así como un mayor coste, a costa de ser más ligeras y eficientes.

2.4.1.3 Baterías de ion-litio con cátodo de fosfato de hierro-litio

Las baterías de ion-litio con cátodo de fosfato de hierro-litio, también conocidas como baterías LiFePO_4 , son un tipo de batería recargable que utiliza fosfato de hierro-litio (LiFePO_4) como material activo en el cátodo. Estas son cada vez más utilizadas en el sector de la movilidad eléctrica y en almacenamiento de energía debido a sus características y beneficios particulares respecto a otras baterías.

Las ventajas que ofrecen estas baterías son las siguientes:

- **Mayor seguridad:** las baterías LiFePO_4 son conocidas por ser más seguras en comparación con otros tipos de baterías de ion-litio. Tienen una menor propensión a la combustión térmica y son más estables en condiciones extremas, lo que las hace menos propensas a sufrir fallos catastróficos.
- **Alta densidad de energía:** Aunque la densidad de energía de las baterías LiFePO_4 es menor en comparación con otras tecnologías de ion-litio, aún ofrecen una buena densidad energética. Pueden almacenar una cantidad significativa de energía en relación a su peso y tamaño, lo que las hace adecuadas para aplicaciones que requieren una alta potencia.

- **Larga vida útil:** Las baterías LiFePO_4 tienen una vida útil más larga en comparación con otros tipos de baterías de ion-litio. Pueden soportar un mayor número de ciclos de carga y descarga sin experimentar una degradación significativa en su capacidad. Esto las convierte en una opción duradera y confiable a largo plazo.
- **Rendimiento a temperaturas extremas:** Las baterías LiFePO_4 son menos sensibles a las variaciones de temperatura en comparación con otras tecnologías de ion-litio. Mantienen un rendimiento estable incluso en condiciones de frío extremo o altas temperaturas, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en diferentes climas.

Las desventajas de dichas baterías son:

- **Menor densidad de energía:** Aunque las baterías LiFePO_4 ofrecen una buena densidad energética, su capacidad de almacenamiento de energía por unidad de peso es menor en comparación con otras tecnologías de ion-litio. Esto puede limitar su aplicabilidad en situaciones que requieren una gran autonomía o una capacidad de almacenamiento muy alta.
- **Mayor costo:** Las baterías LiFePO_4 tienden a ser más costosas en comparación con otros tipos de baterías de ion-litio. Esto se debe en parte a la composición química y a los materiales utilizados en su fabricación. Sin embargo, su mayor durabilidad y seguridad pueden compensar el costo adicional a largo plazo.

2.4.2 Análisis elementos de las baterías de los vehículos eléctricos

A continuación, se van a analizar los materiales presentes en una batería de un vehículo eléctrico. Para ello, se van a estudiar distintos tipos de batería de una determinada capacidad, en concreto 60 kWh.

Se van a estudiar 5 baterías (todas de litio) NMC811, NMC523, NMC622, NCA+ y LFP. Como se ha mencionado anteriormente, NMC hace referencia a la composición del cátodo (Níquel, Manganeso y Cobalto) y el número posterior especifica el porcentaje de su composición, siendo:

- NMC811 (80% níquel, 10% manganeso y 10% cobalto)
- NMC523(50% níquel, 20% manganeso y 30% cobalto)

- NMC622(60% níquel, 20% manganeso y 20% cobalto)

La distribución de los materiales según las baterías es la siguiente:

	NMC811	NMC523	NMC622	NCA+	LFP
Litio (kg)	5	7	6	6	6
Cobalto (kg)	5	11	11	2	0
Níquel (kg)	39	28	32	43	0
Manganeso (kg)	5	16	10	0	0
Grafito (kg)	45	53	50	44	66
Aluminio (kg)	30	35	33	30	44
Cobre (kg)	20	20	19	17	26
Acero (kg)	20	20	19	17	26
Hierro (kg)	0	0	0	0	41

Figura 18: Composición de los distintos tipos de baterías de 60 kWh (en kg) (Elaboración propia con datos de World Energy Trade [11])

De este modo, la composición en porcentaje quedaría de la siguiente manera:

	NMC811	NMC523	NMC622	NCA+	LFP
Litio (%)	2,96%	3,68%	3,33%	3,77%	2,87%
Cobalto (%)	2,96%	5,79%	6,11%	1,26%	0,00%
Níquel (%)	23,08%	14,74%	17,78%	27,04%	0,00%
Manganeso (%)	2,96%	8,42%	5,56%	0,00%	0,00%
Grafito (%)	26,63%	27,89%	27,78%	27,67%	31,58%
Aluminio (%)	17,75%	18,42%	18,33%	18,87%	21,05%
Cobre (%)	11,83%	10,53%	10,56%	10,69%	12,44%
Acero (%)	11,83%	10,53%	10,56%	10,69%	12,44%
Hierro (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	19,62%

Figura 19: Composición de los distintos tipos de baterías de 60kWh (en %) (Elaboración propia)

En la siguiente manera se puede observar la distribución de manera más gráfica.

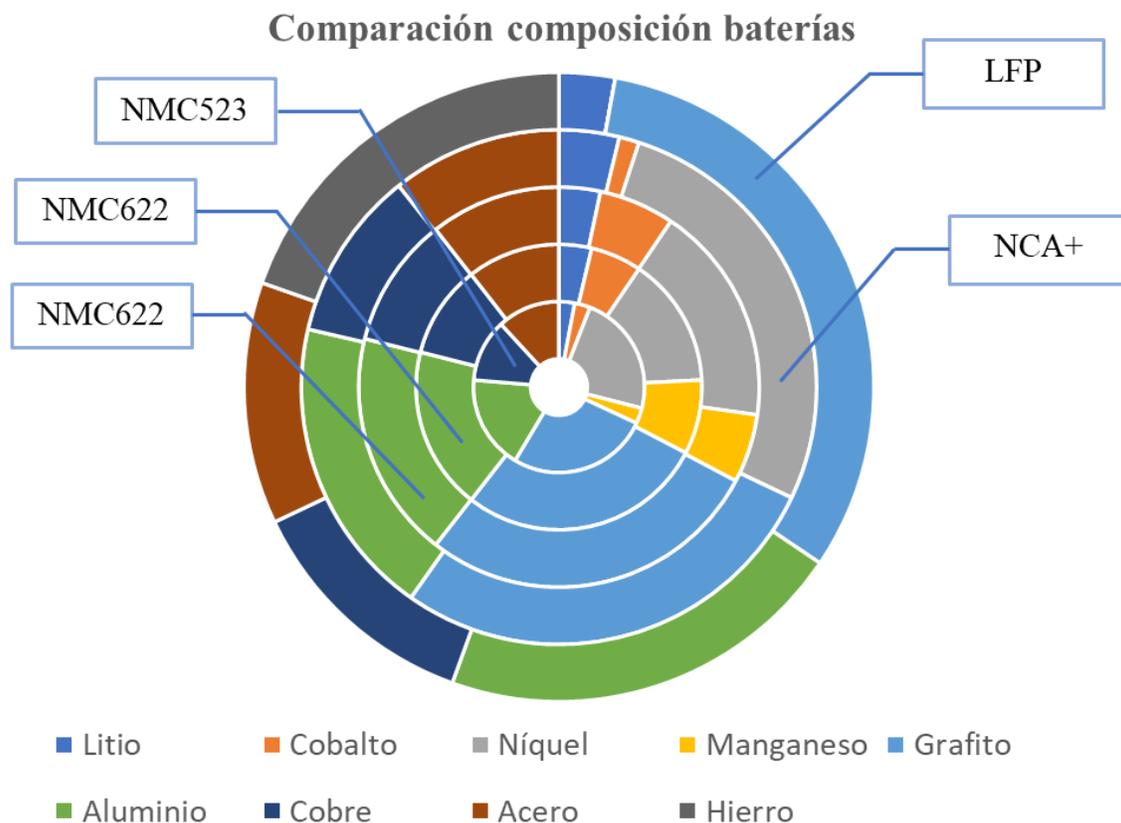


Figura 20: Comparación gráfica de la composición de las baterías de 60 kWh (elaboración propia)

Tras este análisis de las composiciones de las baterías, se puede ver que el material más abundante en las baterías es el grafito, el aluminio y el níquel. Sin embargo, no son los más importantes, ya que no son los encargados de cumplir las funciones más elementales de las baterías.

El elemento más importante de una batería de ion-litio es el litio, ya que desempeña un papel crucial en su funcionamiento y rendimiento.

Como se ha mostrado anteriormente en el proyecto, durante la carga, los iones de litio se desplazan desde el cátodo hacia el ánodo a través del electrolito. Durante la descarga, los iones de litio se desplazan desde el ánodo hacia el cátodo, liberando energía eléctrica en el proceso.

La capacidad de almacenamiento y liberación de energía de una batería de ion-litio depende en gran medida de la capacidad del litio para intercalarse y desintercalarse en el ánodo durante los ciclos de carga y descarga. Además, el litio es un metal ligero, lo que contribuye a la densidad energética de la batería y permite un diseño más compacto.

Si bien otros componentes, como el cátodo y el electrolito, también son importantes en el funcionamiento de la batería de ion-litio, el litio es considerado el elemento más importante debido a su capacidad para almacenar y liberar los iones necesarios para la generación de corriente eléctrica.

2.4.3 Análisis elementos de los motores de los vehículos eléctricos y de combustión

A continuación, se realizará un análisis de los materiales del motor del vehículo eléctrico, así como del motor de combustión. El fin de este análisis es observar los materiales más distintos de estos, para realizar posteriormente un estudio del aumento de la demanda de estos materiales. De este modo, se podrá analizar si existe capacidad de producción de estos materiales para cubrir la demanda de los vehículos eléctricos.

Los motores eléctricos y los motores de combustión interna utilizan diferentes conjuntos de materiales debido a sus principios de funcionamiento y requisitos específicos.

Los materiales más característicos de los motores eléctricos son los siguientes:

- **Bobinas de cobre o aluminio:** Los devanados de cobre o aluminio se utilizan en los rotores y estatores de los motores eléctricos para generar campos magnéticos y producir el movimiento.
- **Imanes permanentes:** Los imanes permanentes, hechos de materiales como el neodimio, el hierro y el boro, se utilizan en algunos motores eléctricos para generar campos magnéticos permanentes y lograr una mayor eficiencia y potencia.
- **Carcasas de acero:** Las carcasas de los motores eléctricos están hechas de acero para proporcionar una estructura robusta y protección a los componentes internos.

- Aislantes y recubrimientos: Los motores eléctricos utilizan materiales aislantes, como resinas y barnices, para proteger los devanados y prevenir cortocircuitos. También se aplican recubrimientos protectores para evitar la corrosión.

A continuación, se muestra un boceto con las partes genéricas comentadas.

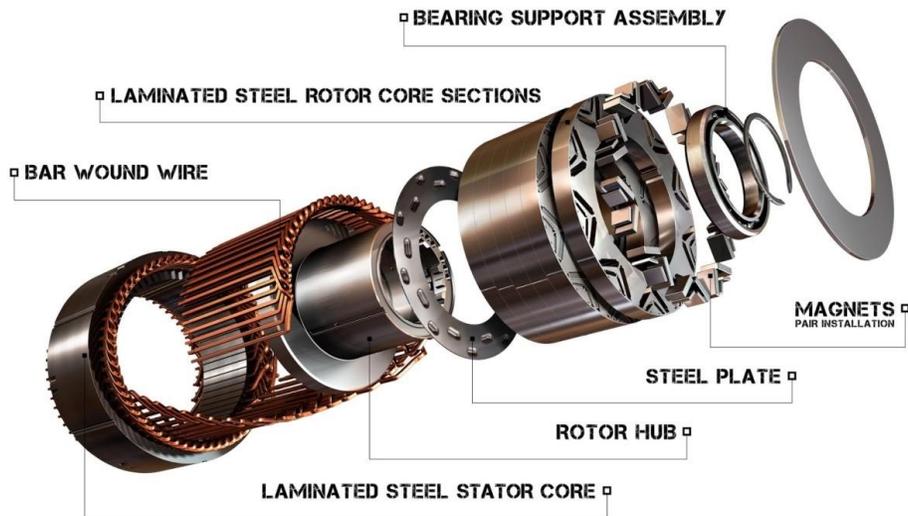


Figura 21: Partes principales del motor eléctrico [12]

Por otro lado, los materiales principales utilizados en motores de combustión interna son:

- Hierro fundido o aluminio fundido: Los bloques de motor y las culatas de los motores de combustión interna suelen estar hechos de hierro fundido o aluminio fundido para proporcionar resistencia y disipación de calor adecuada.

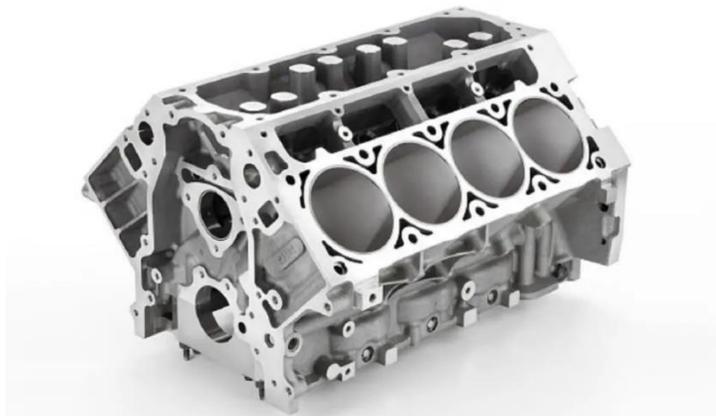


Figura 22: Bloque motor de un vehículo de combustión [13]

- Pistones de aleación de aluminio: Los pistones de los motores de combustión interna están fabricados con aleaciones de aluminio para ser livianos y resistir altas temperaturas y presiones.



Figura 23: Pistones de un vehículo de combustión [14]

- Válvulas y árbol de levas: Las válvulas y el árbol de levas están hechos de acero para resistir el calor y las fuerzas de funcionamiento.



Figura 24: Árbol de levas de un vehículo de combustión [15]

- Cigüeñal y bielas de acero forjado: El cigüeñal y las bielas de los motores de combustión interna se fabrican con acero forjado para proporcionar resistencia y durabilidad bajo cargas intensas.

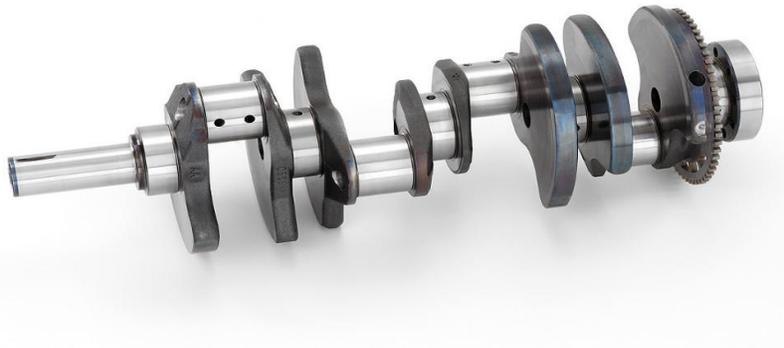
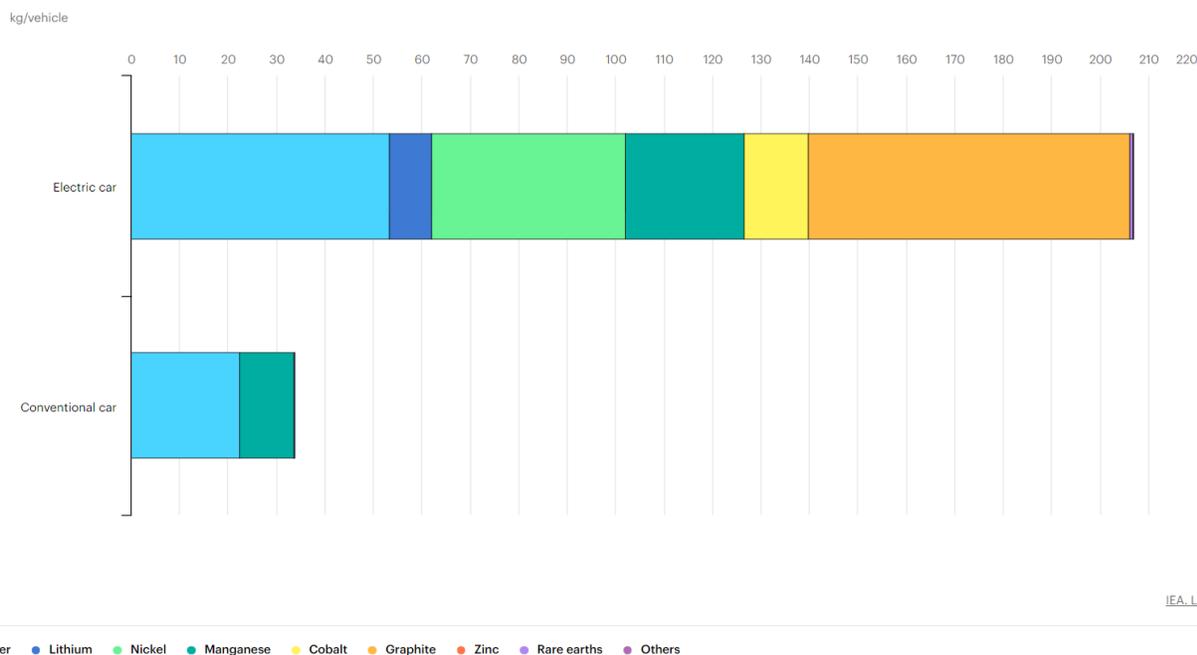


Figura 25: Cigüeñal de un vehículo de combustión [16]

Conocidas las partes principales de ambos tipos de vehículos, se pueden estimar los materiales principales de ambos. En este caso, se analizarán aquellos materiales que no están presentes en los vehículos de combustión, pero sí en los eléctricos, o aquellos que sí que se

encuentran en los vehículos eléctricos, pero su composición y/o relevancia pasa a ser mucho mayor en los vehículos eléctricos.

Además, según la Agencia Internacional de la Energía, la distribución de materiales en los vehículos eléctricos y convencionales es la siguiente:



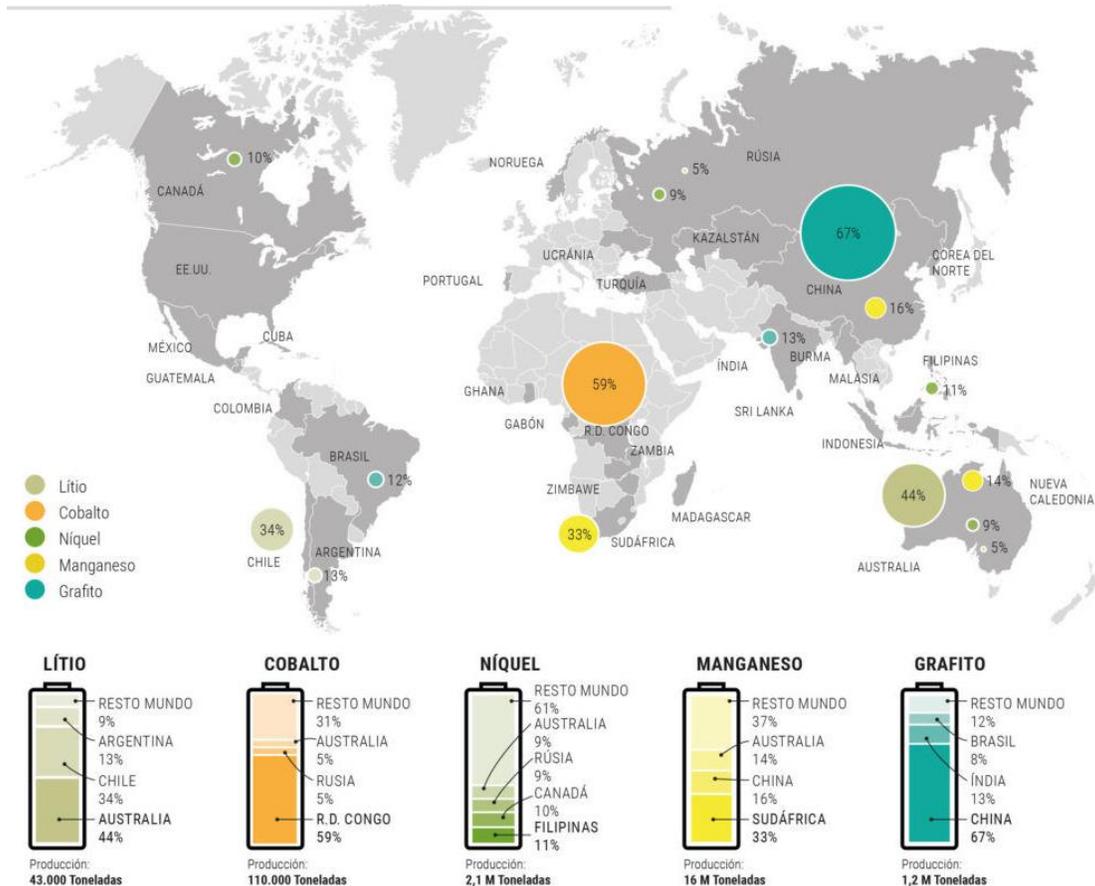
IEA, Licence: CC BY 4.0

Figura 26: Comparación de la composición de materiales de los vehículos eléctricos y convencionales [17]

2.4.4 Análisis de demanda y producción de los materiales de los vehículos eléctricos

En este apartado se estudiará el aumento de demanda que implica la transición a la movilidad eléctrica. Ya conocida la composición principal de los vehículos eléctricos y el cambio en su composición con respecto a los de combustión, podemos intuir cuáles son los materiales que marcan la diferencia en los vehículos eléctricos. Estos materiales son: el litio, el cobalto, el cobre, el grafito y el níquel, entre otros.

Según el Centro de Análisis de fabricación de Energía Limpia (CEMAC en inglés), la distribución de la producción de los principales materiales de las baterías se sitúa de la siguiente manera:



Estos datos son del 2017 y hoy en día la distribución es similar. Según esta distribución, se puede apreciar que algunos materiales imprescindibles como el litio y el cobalto son producidos por una minoría de países. En el caso del litio, en torno al 78% está producido únicamente por Australia y Chile. Respecto al cobalto, casi el 60% es producido por un único país, República Democrática del Congo. Similarmente ocurre con el grafito, el cual está producido por China en un 67%.

Esta distribución tan monopolística puede producir conflictos entre naciones, así como el establecimiento de precios desorbitados.

2.4.4.1 Cobre

Respecto al cobre, según un estudio del ICA (International Copper Association) la demanda del cobre va a aumentar considerablemente debido a la transición a la movilidad eléctrica.

El estudio termina con las siguientes conclusiones:

- La demanda de vehículos eléctricos se espera que crezca mucho en los próximos diez años, impulsada por tecnología, el aumento de la asequibilidad y el despliegue de más cargadores eléctricos. Este aumento provocará una mayor demanda de cobre.
- El uso del cobre en la electromovilidad puede aún mayor con la aparición de los vehículos energéticamente independientes que utilizan paneles solares fotovoltaicos alimentados con cobre para aprovechar la energía renovable.

Además, el estudio recoge datos estadísticos sobre la composición del cobre en los vehículos. La ICA indica que un automóvil convencional con motor de combustión interna utiliza aproximadamente 23 kg de cobre en su cableado. En comparación, un vehículo híbrido (HEV) emplea alrededor de 40 kg de cobre, mientras que un vehículo híbrido enchufable (PHEV) utiliza hasta 60 kg. Por otro lado, un vehículo eléctrico puro (EV) requiere aproximadamente 83 kg de cobre, lo que representa casi cuatro veces la cantidad utilizada en un automóvil convencional. En el caso de los autobuses eléctricos, la cantidad de cobre utilizada se dispara aún más, alcanzando entre 224 y 369 kg, según la ICA.

Este estudio realiza una estimación de la producción de vehículos eléctricos para posteriormente calcular la producción de cobre estimada en los próximos años. Las estimaciones son las siguientes:

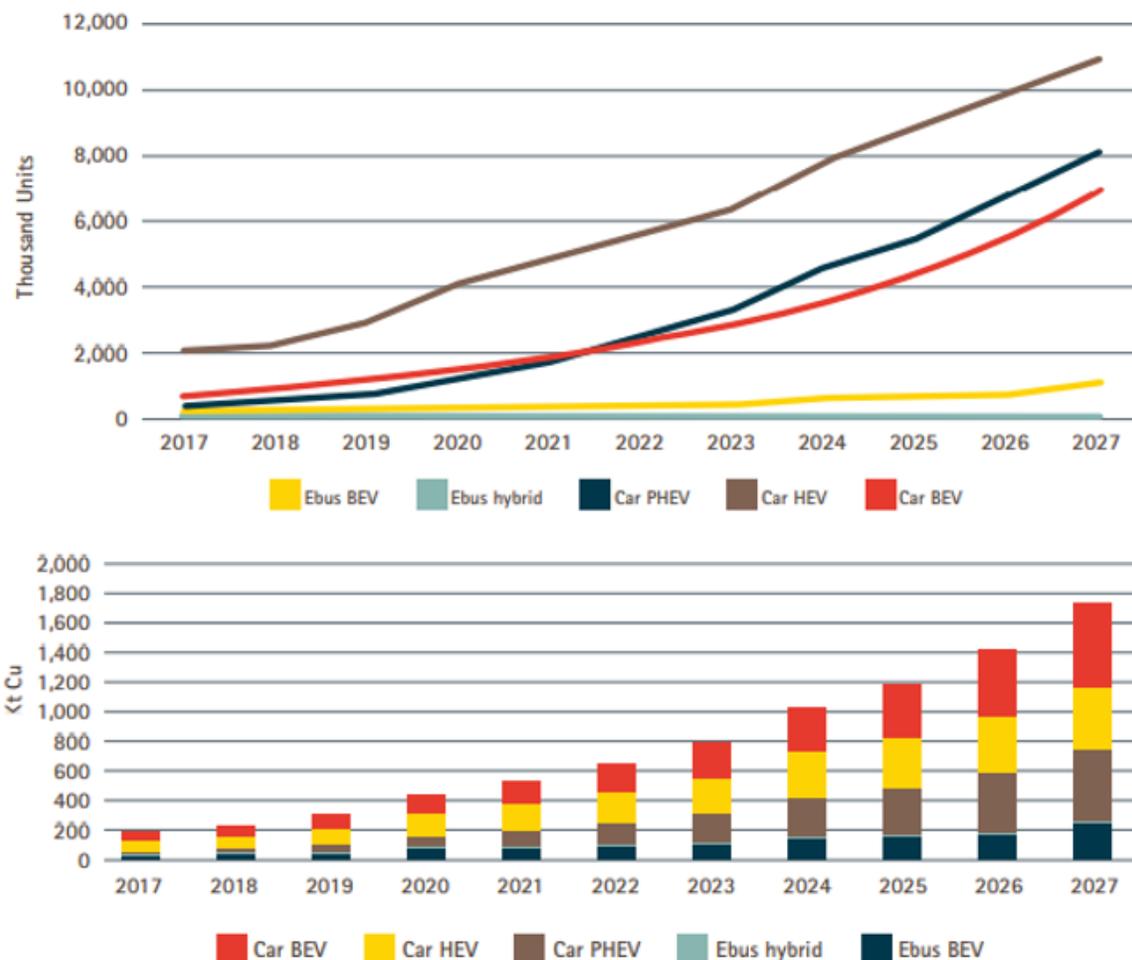


Figura 27: Estimación de la producción de cobre debida a la movilidad eléctrica en los próximos años [18]

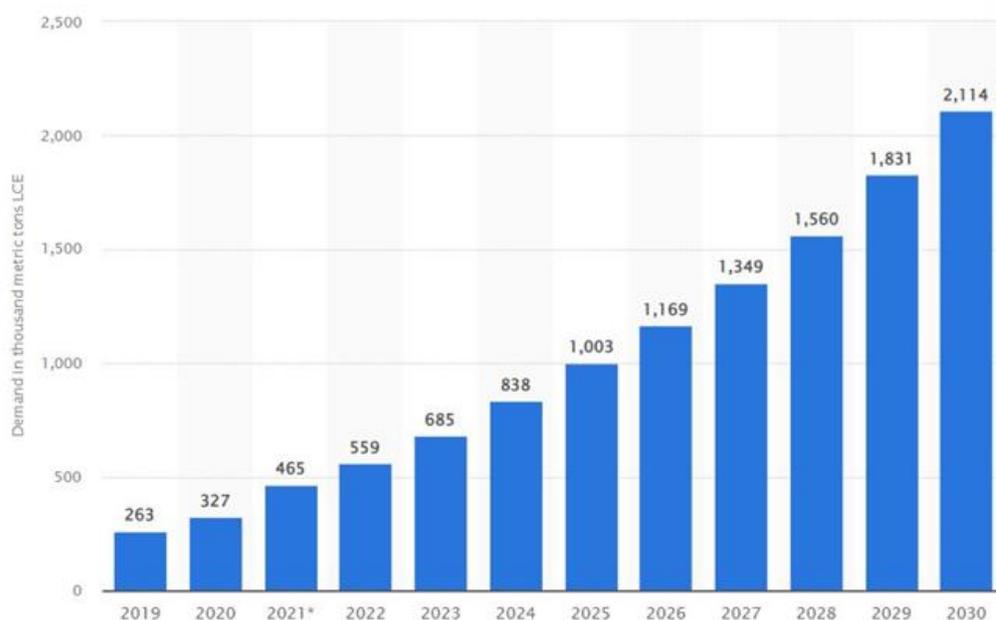
Además, los cargadores eléctricos aumentarán incluso más estas estimaciones, estimándose que cada cargador contiene 0,7 kg de cobre y, si es de carga rápida, puede llegar hasta los 8 kg.

2.4.4.2 Litio y otros materiales

El litio, el material más importante para la producción de la batería, ha tenido numerosos cambios de oferta y de demanda debidos al crecimiento de la movilidad eléctrica.

Se trata de un metal ligero y altamente reactivo que tiene propiedades ideales para el almacenamiento de energía en forma de baterías de alta capacidad y eficiencia.

La producción y demanda de litio han experimentado un aumento significativo en los últimos años debido a la transición hacia la movilidad eléctrica. Los vehículos eléctricos requieren grandes cantidades de litio para sus baterías de alto rendimiento, lo que ha llevado a un incremento en la extracción y producción de litio en todo el mundo. El crecimiento y su estimación son los siguientes:



Esta gráfica indica las miles de toneladas de carbonato de litio producidas mundialmente. Como se puede observar, se estima un crecimiento anual del 20%, llegando en 2030 a producirse más del triple que en el año actual.

Los principales países productores de litio son Australia y Chile, que albergan importantes yacimientos de litio. Estos países han visto un aumento en la producción de litio para satisfacer la creciente demanda de la industria automotriz y otros sectores relacionados con las tecnologías de almacenamiento de energía.

A nivel global, la distribución de la producción de litio ha sido la siguiente en el pasado año 2022:

Rank	Country	Mine production 2022E (tonnes)	Share (%)
1	Australia	61,000	46.9%
2	Chile	39,000	30.0%
3	China	19,000	14.6%
4	Argentina	6,200	4.8%
5	Brazil	2,200	1.7%
6	Zimbabwe	800	0.6%
7	Portugal	600	0.5%
8	Canada	500	0.4%
	Other countries*	700	0.5%
	World Total	130,000	100.0%

Figura 28: Ranking de los mayores productores de litio en 2022 a nivel global [19]

La demanda de litio ha aumentado debido a las políticas gubernamentales que promueven la adopción de vehículos eléctricos, así como a la conciencia creciente sobre la importancia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto ambiental asociado con los combustibles fósiles.

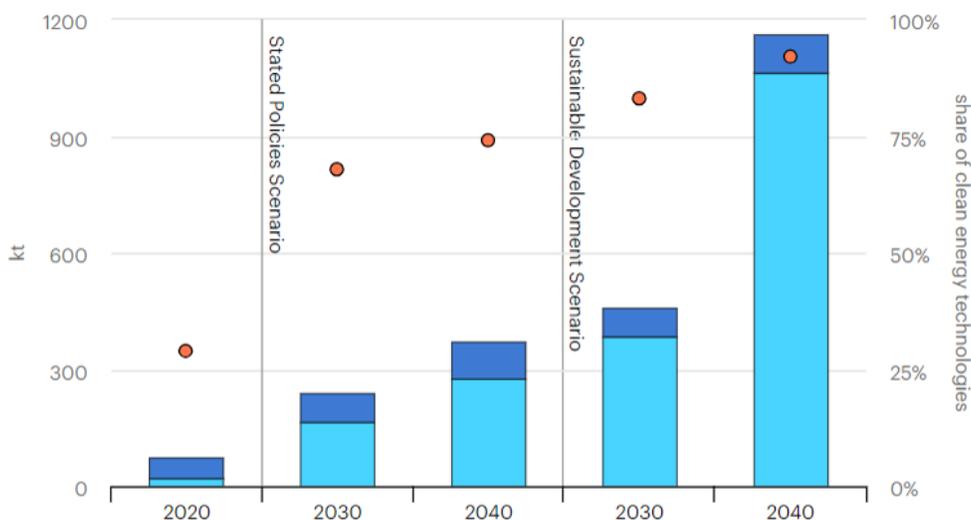
Sin embargo, este aumento en la demanda de litio también ha generado preocupaciones sobre la disponibilidad de recursos y el impacto ambiental de su extracción. La industria del litio se enfrenta al desafío de equilibrar la creciente demanda con prácticas sostenibles de extracción y producción, minimizando los impactos sociales y ambientales negativos.

La demanda de litio para las tecnologías de energías limpias está creciendo al ritmo más rápido entre los principales minerales. Mientras que otros minerales utilizados en los vehículos eléctricos (por ejemplo, el cobalto y el níquel) están sujetos a la incertidumbre en torno a las distintas opciones químicas, la demanda de litio es relativamente inmune a estos riesgos, con ventajas adicionales si se adoptan de forma generalizada las baterías de estado sólido. En la actualidad, las tecnologías de energías limpias representan en torno al 30% de la demanda total de litio (frente a la minúscula cuota de 2010), y la rápida implantación de los vehículos eléctricos aumentará la cuota hasta el 75% en los escenarios de políticas declaradas (STEPS) y más del 90% en los SDS en 2040. Aunque el carbonato de litio es actualmente el principal producto químico utilizado en los VE, se espera que el hidróxido de

litio ocupe su lugar, ya que es más adecuado para los cátodos de baterías con alto contenido en níquel.

Según la Agencia Internacional de la Energía, la demanda de litio según sector y en distintos escenarios sería la siguiente:

Total lithium demand by sector and scenario, 2020-2040



IEA. Licence: CC BY 4.0

● EVs and storage ● Other sectors ● Share of clean energy technologies

El litio procede de dos tipos de recursos muy diferentes (salmuera y espodumeno): Chile y Australia son los principales productores de ambos, respectivamente. Tanto la mayor mina como el mayor centro de producción de salmuera, Greenbushes en Australia y Salar de Atacama en Chile, están ampliando su capacidad de producción en más de 2,5 veces. Que estos suministros sean suficientes para satisfacer la demanda depende en gran medida de cómo evolucione ésta. Los volúmenes de producción previstos de las minas existentes y de los proyectos en construcción parecen capaces de cubrir la demanda prevista en los STEPS hasta finales de la década de 2020, pero no son suficientes para soportar el crecimiento de la demanda previsto en los SDS.

Por este motivo, es necesario recurrir a dos soluciones: aumentar el reciclaje del litio de las baterías producidas o investigar sobre baterías alternativas que no dependan del litio.

Las técnicas de reciclaje en grandes proporciones, como el triturado y fundición de baterías para recuperar los metales, consumen cantidades significativas de energía y generan una considerable contaminación. Una alternativa consiste en desmontar las baterías y reutilizar sus componentes, pero actualmente este proceso se realiza manualmente y resulta poco eficiente. Más adelante se hablará sobre el reciclaje de las baterías de litio.

La otra opción que se contempla en el mercado es sustituir las baterías de litio por baterías de distinta composición. Las principales tecnologías que se investigan son las baterías de estado sólido, las celdas de hidrógeno e incluso baterías con materiales abundantes en la tierra como el sodio.

Además de ser cada vez más escaso, el litio aumenta su precio considerablemente respecto a los últimos 20 años y comparado con el resto de los minerales necesarios en las baterías. Sin embargo, el precio de las baterías ha disminuido notablemente.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de los precios de los materiales y de las baterías en los últimos años según la AIE.

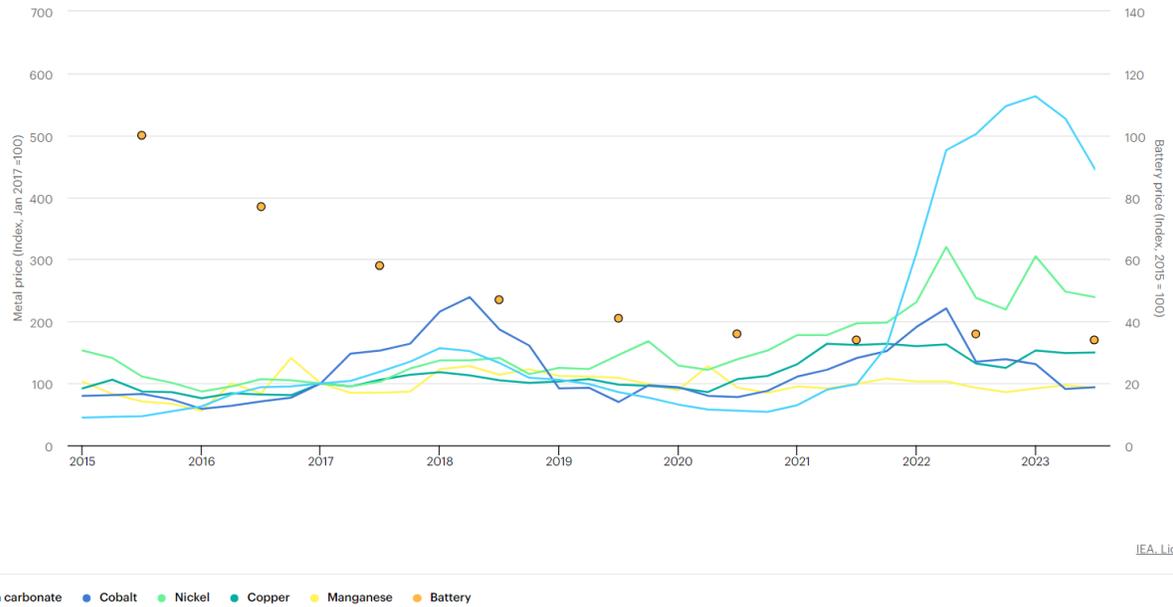


Figura 29: Evolución de los precios de los minerales de las baterías [20]

2.5 Estudio del aumento de demanda eléctrica

En este apartado se va a realizar un análisis del impacto de la movilidad eléctrica en la demanda energética europea.

La EEA ha realizado un estudio sobre el futuro impacto de los vehículos eléctricos en la demanda de energía en Europa. Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

- Los vehículos eléctricos propulsados por fuentes de energía renovables pueden desempeñar un papel importante en los planes de la UE para avanzar hacia un sistema de transporte descarbonizado y cumplir su objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 80-95 % para 2050.
- El crecimiento del uso de vehículos eléctricos dará lugar a una demanda extra de energía en la Unión Europea (UE-28): El consumo total de electricidad de los vehículos eléctricos en Europa pasará de aproximadamente el 0,03 % en 2014 al 9,5 % en 2050.

Este aumento del uso de vehículos eléctricos se traducirá en menores emisiones de CO₂ y contaminantes atmosféricos del propio sector del transporte por carretera, mayores emisiones de la producción de electricidad asociada, un beneficio neto global en términos de menores emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y de los contaminantes atmosféricos como óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas de materia (PM). Además, producirá un aumento global del dióxido de azufre (SO₂) debido a las emisiones del sector de generación de electricidad.

En la Unión Europea se necesitará más generación de electricidad para satisfacer la demanda energética adicional derivada del 80% de vehículos eléctricos en 2050. El porcentaje del consumo total de electricidad de los vehículos eléctricos en Europa pasará de aproximadamente el 0,03% en 2014 a alrededor del 4-5% en 2030 y al 9,5% en 2050.

La demanda adicional de electricidad debida a las elevadas tasas de propiedad de vehículos eléctricos que se prevén para el futuro deberá satisfacerse mediante la generación de energía adicional. Además, esta energía adicional debe integrarse en la infraestructura de red de toda Europa. Las cuestiones críticas son, por tanto, cuánta electricidad se necesita, qué tipo de generación se utiliza para cubrir esta demanda adicional de electricidad y qué tipo de generación se necesita para cubrir esta demanda adicional de electricidad y cómo se gestionan los picos de carga.

Hasta 2030, la demanda adicional de energía de los vehículos eléctricos será limitada y no influirá significativamente en el sistema eléctrico. Pero, a largo plazo, con las elevadas cuotas de mercado de vehículos eléctricos previstas para 2050, la demanda de electricidad requerida tendrá un impacto más significativo en el sistema eléctrico.

El porcentaje de consumo eléctrico requerido por una cuota del 80% de vehículos eléctricos en 2050 variará entre el 3% y el 25% de la demanda total de electricidad en los Estados miembros de la UE-28 (Figura 1), dependiendo del número de vehículos eléctricos previsto en cada país.

Por término medio, para la UE-28, la proporción de la demanda total de electricidad necesaria en 2050 es del 9,5%, frente al 1,3% previsto en la proyección de la Comisión Europea. En total, se necesitará capacidad eléctrica adicional de 150 GW para cargar los coches eléctricos.

En el escenario de este estudio, la demanda energética de los distintos países europeos de los vehículos eléctricos (en porcentaje respecto a la demanda total) será la siguiente en el 2050:

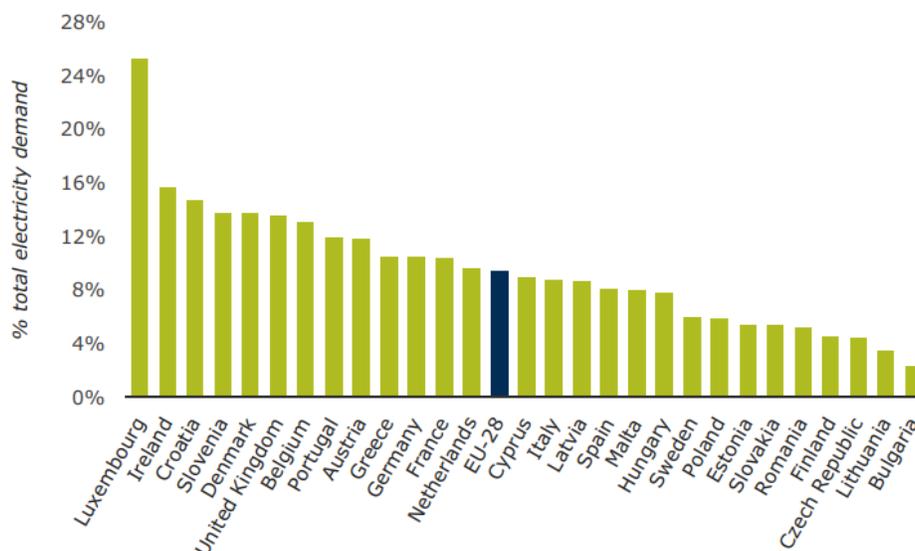


Figura 30: Escenario estimado del impacto de los vehículos eléctricos en la demanda energética [21]

De este modo los miembros de la Unión Europea se sitúan en una media del 9,5% y España en torno al 9%.

Por otro lado, otro estudio de impacto de la Unión Europea sobre los vehículos eléctricos, realiza la siguiente estimación. En esta gráfica no sólo se muestra la situación prevista en 2050, sino también la evolución con los años y diferentes casos. TL hace referencia a “target level”, siendo “0” la situación actual, “low” un objetivo bajo, “med” un objetivo medio y “high” un objetivo optimista.

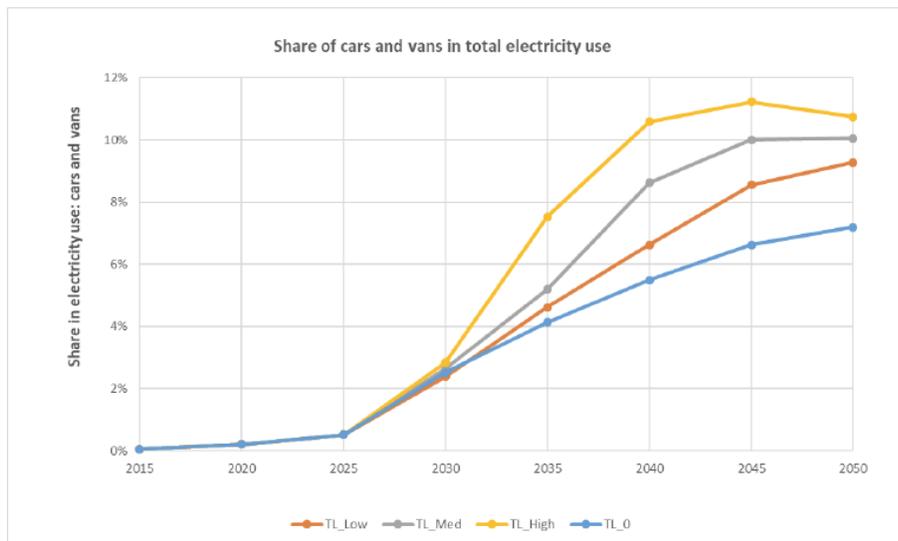


Figura 31: Evolución del impacto de los vehículos eléctricos en la demanda energética [22]

Este escenario es similar al estimado en la anterior gráfica (comparándolo con el TL_Med, el objetivo medio). En este caso, el escenario de objetivo más bajo es el que coincide con la predicción de la Figura 29.

2.6 Estudio económico de la compra de un vehículo eléctrico frente a un vehículo de combustión

En este apartado se pretende evaluar los costes de un vehículo eléctrico frente a uno de combustión. Para ello, se tendrán en cuenta los costes más importantes en la vida de ambos vehículos.

Los costes por estudiar son el coste de adquisición, coste de instalación del punto de recarga, coste de combustible (gasolina/diésel y kWh), coste de la ORA, impuesto de circulación y coste de mantenimiento. No se incluye el precio del seguro debido a que los precios de asegurar un vehículo eléctrico no son muy diferentes a los de un vehículo de combustión. Además, este coste varía mucho según el tipo de seguro y la aseguradora.

Aparte de estos costes, se va a estimar los kilómetros anuales recorridos que va a permitir el cálculo de coste de mantenimiento, el cuál se ha estimado en 4 céntimos por kilómetro para los vehículos eléctricos y 5,6 céntimos por kilómetro para los vehículos de combustión (gasolina en este caso).

Para el caso de los vehículos eléctricos se presentan dos casos. El primero, con punto de recarga propio, es decir, se cuenta el precio de instalación del punto de recarga, pero las recargas del vehículo eléctrico salen más baratas. En este caso, se estima que 20 veces al año será necesario recargar el vehículo en un punto de recarga público. En el segundo caso se presenta una situación sin punto de recarga (situación de alguien sin plaza propia que no puede instalar el punto de recarga), en el que no hay inversión inicial del punto de recarga, pero deba recargar el vehículo en puntos de recarga públicos.

Para ambos casos se ha realizado un estudio en un período de 15 años. El vehículo que se va a estudiar en ambos casos es el Peugeot 208 vs Peugeot e-208. Se ha elegido este vehículo ya que son modelos iguales, pero en versión eléctrica/combustión. Dado que el Peugeot e-208 cuenta con 136 CV, se ha elegido el modelo de Peugeot 208 de 130 CV, el más aproximado.

El impuesto de circulación se ha calculado según los caballos fiscales. El Peugeot 208 tiene 8,73, por lo que según la siguiente tabla, sería de 66 euros anuales (en Madrid).

Turismos	Euros	Camiones	Euros
Menos de 8 caballos fiscales	20	De menos de 1.000 kg de carga útil	73
De 8 a 11,99 caballos fiscales	59	De 1.000 a 2.999 kg de carga útil	149
De 12 a 15,99 caballos fiscales	129	De más de 2.999 a 9.999 kg de carga útil	213
De 16 a 19,99 caballos fiscales	179	De más de 9.999 kg de carga útil	266
De 20 caballos fiscales en adelante	224		

Autobuses	Euros	Tractores	Euros
De menos de 21 plazas	145	De menos de 16 caballos fiscales	32
De 21 a 50 plazas	212	De 16 a 25 caballos fiscales	50
De más de 50 plazas	266	De más de 25 caballos fiscales	149

Remolques y semirremolques	Euros	Motocicletas y ciclomotores	Euros
De menos de 1.000 y más de 750 kg	32	Ciclomotores	7
De 1.000 a 2.999 kg de carga útil	50	Mot. hasta 125 CC	7
De más de 2.999 kg de carga útil	149	Mot. de más de 125 hasta 250 CC	12
		Mot. de más de 250 hasta 500 CC	27
		Mot. de más de 500 hasta 1.000 CC	60
		Mot. de más de 1.000 CC	121

Figura 32: Impuesto de circulación según caballos fiscales en Madrid a 2023

En el primer caso, los resultados son los siguientes:

Peugeot e208			
Precio	31.950,00 €		
Consumo (kWh/100km)	16,3		
Instalación punto de carga	1.200 €		
Precio electricidad estimado (kWh)	0,14 €		
Peugeot 208			
Precio	24.000 €		
Consumo (l/100km)	4,5		
Precio combustible estimado (l)	1,67		
Otros datos relevantes			
Kilómetros al año previstos	20.000		
Vida útil del vehículo prevista (años)	15		
Gasto anual en ORA o similar	150 €		
Recarga Punto Público	20		
Impuesto de circulación	59 €		
	Coche Eléctrico	Combustible fósil	Diferencia
Precio (con punto de carga)	33.150 €	24.000 €	9.150 €
Gasto en combustible	6.846 €	22.545 €	-15.699 €
Gasto en mantenimiento	12.000 €	16.680 €	-4.680 €
Gasto en aparcamiento (ORA)		2.250 €	-2.250 €
Gasto Punto Recarga Público	6.000 €		6.000 €
Impuestos	221 €	885 €	-664 €
Total	58.217 €	66.360 €	-8.143 €

Figura 33: Estudio de costes de Peugeot e208 vs Peugeot 208 (con punto de recarga)

En el período de 15 años, el vehículo eléctrico supone un ahorro de 8.143 euros, es decir, unos 550 euros al año. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta la posible sustitución de la batería del vehículo eléctrico o de alguno de sus módulos. En este caso, Peugeot asegura el 70% de la capacidad de la batería en los primeros 8 años o 160.000 km. Aunque no dan garantía, las marcas aseguran que la batería debería ser funcional el mismo tiempo de la duración del vehículo, que lo estiman en 15/16 años. La sustitución de la batería en el Peugeot e-208 ronda los 14.000 euros, por lo que si esto fuese necesario, la adquisición de un vehículo eléctrico supondría una pérdida de 8.200 euros frente al vehículo de combustión.

En el segundo caso, los resultados son los siguientes:

Peugeot e208			
Precio	31.950,00 €		
Consumo (kWh/100km)	16,3		
Instalación punto de carga	1.200 €		
Precio electricidad estimado (kWh)	0,35 €		
Peugeot 208			
Precio	24.000 €		
Consumo (l/100km)	4,5		
Precio combustible estimado (l)	1,67		
Otros datos relevantes			
Kilómetros al año previstos	20.000		
Vida útil del vehículo prevista (años)	15		
Gasto anual en ORA o similar	150 €		
Impuesto de circulación	59 €		
	Coche Eléctrico	Combustible fósil	Diferencia
Precio (con punto de carga)	33.150 €	24.000 €	9.150 €
Gasto en combustible	17.115 €	22.545 €	-5.430 €
Gasto en mantenimiento	12.000 €	16.680 €	-4.680 €
Gasto en aparcamiento (ORA)		2.250 €	-2.250 €
Impuestos	221 €	885 €	-664 €
Total	62.486 €	66.360 €	-3.874 €

Figura 34: Estudio de costes de Peugeot e208 vs Peugeot 208 (sin punto de recarga)

En el segundo caso el margen es mucho menor debido al mayor coste de recarga del vehículo eléctrico. El ahorro es tan solo de 263 euros al año. Además, como en el caso primero, está el problema del cambio de batería, que resulta una incógnita definitiva en el estudio económico.

Capítulo 3 – Conclusión

Este proyecto ha proporcionado una visión en profundidad y completa del estado actual de la tecnología de vehículos eléctricos (VE). A lo largo de este estudio, se han abordado diversos aspectos, tanto en el ámbito legislativo (las políticas de España y la UE), como en el ámbito ingenieril y económico (la evaluación de aspectos técnicos de la movilidad eléctrica frente a la de combustión, el estudio de las materias primas críticas y el estudio económico de la adquisición de un VE). Los resultados y hallazgos clave de esta investigación destacan la viabilidad y el potencial de los VEs como una alternativa sostenible y eficiente a los vehículos de combustión interna, aunque con varios matices y puntos a mejorar.

Se ha demostrado que los vehículos eléctricos presentan ventajas notables en términos de reducción de emisiones, menor dependencia de los combustibles fósiles y la capacidad de contribuir a la mitigación del cambio climático. En el apartado de [Comparación de consumo](#) se ha podido ver cómo un VE tiene mayor eficiencia y consume en torno a 3 veces menos que un vehículo combustión (55 kWh/100km frente a 17 kWh/100km, de media). Por otro lado, en el apartado de [Comparación de las emisiones](#), se ha observado como a pesar de consumir energía proveniente de fuentes no sostenibles, el VE genera en torno a un 65% menos de emisiones de CO₂ por kilómetro en su ciclo de vida (en Europa).

Sin duda, estas ventajas suponen un paso revolucionario en el sector de la automoción, que se adapta a las circunstancias actuales de cambio climático. Sin embargo, en este proyecto se han detectado algunos inconvenientes que hay que tener en cuenta antes de fabricar vehículos eléctricos de forma masiva.

Se debe destacar que todavía existen desafíos técnicos y económicos que deben superarse para lograr una adopción generalizada de los vehículos eléctricos. Un factor técnico a mejorar es la autonomía, la cual es muy variable según las condiciones de conducción y del entorno y es en torno a un 40% menor que la de los vehículos de combustión (de media). Otro factor importante es la infraestructura de carga, la cual debe expandirse y abaratar el coste de recarga público para que las personas que no pueden tener punto de recarga propio rentabilicen la adquisición del vehículo eléctrico. Por último, se debe seguir trabajando en la mejora de la gestión de recursos energéticos y de materiales, de este modo las emisiones indirectas de los vehículos eléctricos podrán reducirse notablemente. Respecto a los recursos materiales, se debe seguir trabajando en nuevas formas de almacenamiento de energía con

distintos materiales. Con ello, se diversificará la demanda de materiales con el fin de que no se agoten o se monopolicen. En el caso del litio, el material más importante de las baterías de los VEs, se puede ver en el apartado de [Litio y otros materiales](#) que el 77% de su producción viene de la mano de Australia y Chile.

Respecto al [Estudio Económico](#), se concluye con que en el caso del Peugeot 208 vs Peugeot e-208, el ahorro en el caso con punto de recarga particular es de 8143 euros en 15 años (unos 550 euros anuales) y en el caso sin punto de recarga, el ahorro es de 3874 euros (258 euros anuales). Este ahorro viene en ambos casos de los costes de combustibles y mantenimiento, beneficios fiscales y beneficios de aparcamiento. En ambos casos, se ha supuesto que la duración de la batería llega a los 15 años. En conclusión, el ahorro económico es muy bajo frente al riesgo demasiado elevado en cuanto a la duración de la batería, la cual tiene una garantía del 70% de capacidad durante solamente 8 años o 160.000 km. Además, este ahorro implicaría ciertas incomodidades, como la menor autonomía del vehículo, que conlleva la obligación de planificar viajes largos estratégicamente, así como la variación de la capacidad de la batería según las condiciones de conducción (como la temperatura y la velocidad).

En todos estos factores a mejorar de los VEs que se han citado, juegan un papel importante las políticas gubernamentales y la colaboración de la industria en el impulso de esta tecnología. Al comienzo del documento se han expuesto brevemente las estrategias principales de la UE y España, las cuales van de la mano. Sin embargo, como se ha podido observar en el estudio económico, si se quiere seguir estrictamente el plan estratégico de la UE, van a ser necesarias ayudas y subvenciones para la compra de VEs. Esto se debe a que, como se ha expuesto en el [Estudio Económico](#), la adquisición del VE consigue un ahorro económico en el largo plazo, pero supone una mayor inversión inicial y una posible gran inversión en el caso de deterioro de la batería.

En última instancia, este trabajo respalda la idea de que los vehículos eléctricos pueden desempeñar un papel fundamental en el futuro de la movilidad sostenible y que la investigación y el desarrollo continuos son esenciales para avanzar en esta dirección. Sin embargo, es necesario trabajar en los desafíos técnicos y económicos expuestos en el proyecto si se quiere llegar al objetivo que propone la UE (el cual se encuentra todavía muy lejos). Los VEs no sólo son necesarios para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire, sino que también representan una oportunidad para la innovación y el liderazgo en la industria automotriz, la cual se encuentra en pleno cambio hacia la movilidad eléctrica. Por lo tanto, este estudio pretende contribuir al conocimiento

existente sobre vehículos eléctricos y brinda una base sólida para futuras investigaciones y avances en el campo de la ingeniería.

Bibliografía

- [1] «BBVA,» [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-acuerdo-de-paris-y-que-supone-para-el-planeta/>.
- [2] «Proyecto de ley de cambio climático y transición energética,» 19 Mayo 2021. [En línea].
- [3] «ABC/Buena Energía,» [En línea]. Available: <https://www.abc.es/contentfactory/post/2022/04/18/buena-energia-electrificacion-por-que-no-vas-a-dejar-de-escuchar-esta-palabra/>.
- [4] «Revista Motorpasión,» [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/sobrepeso-peligroso-impacto-coche-electrico-49-fuerte-comparado-coche-gasolina>.
- [5] «EPDATA - Matriculaciones de los vehículos,» [En línea]. Available: <https://www.epdata.es/vehiculos-diesel-tuvieron-matriculaciones/2a0a21f7-703e-488e-8e9d-6410d59c6679/espana/106>.
- [6] «Global EV Outlook - UBS Estimates,» [En línea].
- [7] «Geotab - Coche eléctrico y sostenibilidad,» 6 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.geotab.com/es/blog/temperatura-vehiculos-electricos/>.
- [8] Geotab, «Coche eléctrico y sostenibilidad,» [En línea]. Available: <https://www.geotab.com/es/blog/el-estado-de-las-baterias-de-los-vehiculos-electricos/>.

- [9] ICCT.
- [10] P. K. Singh. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Lithium-ion-battery-chemistry-a-during-discharging-and-charging-and-b-cylindrical_fig3_343746458.
- [11] ¿. s. l. p. m. d. l. b. d. u. v. eléctrico?, «World Energy Trade,» [En línea]. Available: <https://www.worldenergytrade.com/metales/mineria/principales-minerales-bateria-vehiculo-electrico>.
- [12] «European Training Network for the Design and Recycling of Rare-Earth Permanent Magnet Motors and Generators in Hybrid and Full Electric Vehicles (DEMETER),» [En línea]. Available: <https://etn-demeter.eu/lets-discuss-motors-in-electric-vehicles-continued/>.
- [13] D. L. Donaire, «El bloque motor: qué es, de qué está hecho, partes, tipos, fabricación,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>.
- [14] «Pistones de motor: qué son, para qué sirven y cuáles comprar,» [En línea]. Available: <https://siempreauto.com/pistones-de-motor/>.
- [15] D. Plaza, «¿Qué es el árbol de levas? Tipos y avería,» [En línea]. Available: <https://www.motor.es/que-es-arbol-de-levas>.
- [16] «Cigüeñal del coche, ¿Qué es y cuál es su función?,» [En línea]. Available: <https://wavydrive.com/ciguenal-del-coche-que-es-y-cual-es-su-funcion/>.

- [17] «International Energy Agency - The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions,» [En línea].
Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/minerals-used-in-electric-cars-compared-to-conventional-cars>.
- [18] ICA, «copperalliance.org,» [En línea]. Available: <https://copperalliance.org/wp-content/uploads/2017/06/2017.06-E-Mobility-Factsheet-1.pdf>.
- [19] «VisualCapitalist,»<https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-worlds-largest-lithium-producers/#:~:text=Australia%20the%20world's%20leading%20producer,mines%20specific>.
- [20] «IEA,» [En línea]. Available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/price-of-selected-battery-materials-and-lithium-ion-batteries-2015-2023>.
- [21] E. E. A. (EEA), «Electric vehicles and the energy sector - impacts on».
- [22] «Informe de impacto SWD (2021),» [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12655-Emisiones-de-CO2-de-turismos-y-furgonetas-revision-de-las-normas-de-comportamiento_es#.
- [23] «Objetivos de desarrollo sostenible UNESCO,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
-

DOCUMENTO II

-

ANEXO



ANEXO I

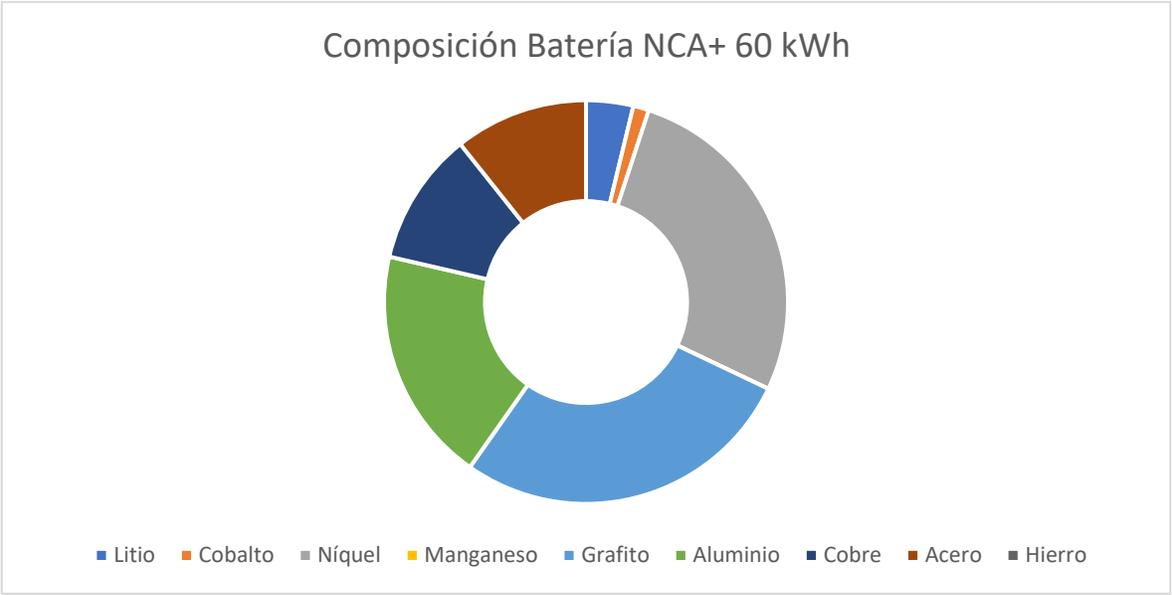
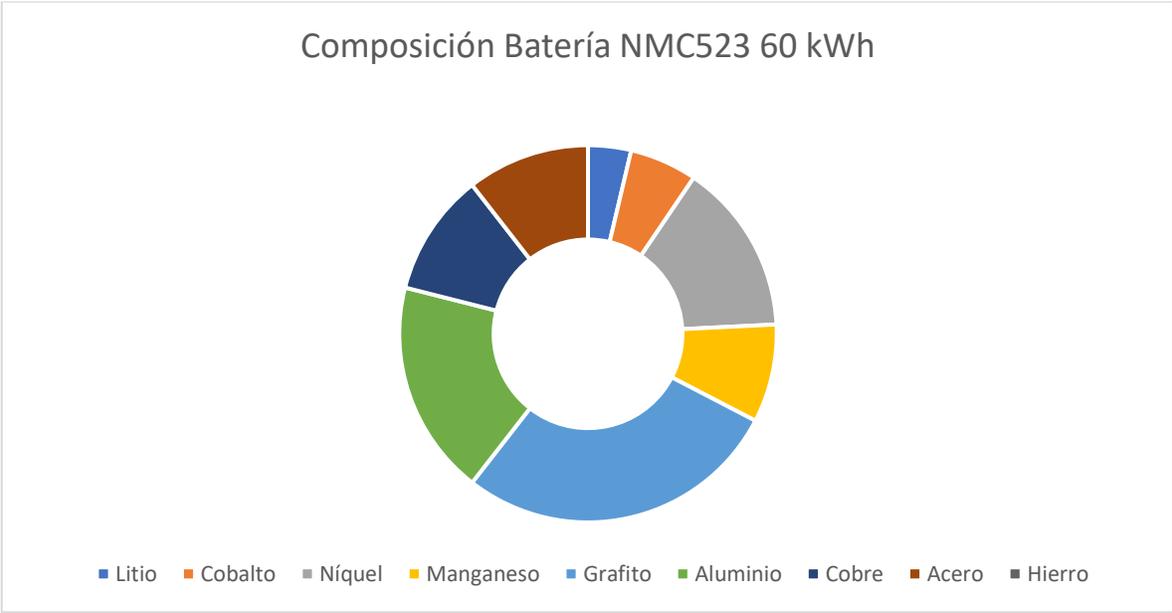
Tabla Top 50 Vehículos más vendidos

2022	2021	Modelo	Marca	Unidades 2022	Autonomía WLTP	Autonomía NDEC
1	16	Tesla Model Y	Tesla	137052	533	639,6
2	1	Tesla Model 3	Tesla	91475	602	722,4
3	4	Volkswagen ID.4	Volkswagen	67490	521	625,2
4	6	Fiat 500e	Fiat	66198	257	308,4
5	3	Volkswagen ID.3	Volkswagen	53015	546	655,2
6	7	Skoda Enyaq	Skoda	49566	535	642
7	14	Dacia Spring	Dacia	48535	230	276
8	9	Peugeot 208	Peugeot	46616	362	434,4
9	8	Hyundai Kona	Hyundai	41226	790	948
10	5	Kia Niro	Kia	38522	455	546
11	21	Hyundai IONIQ 5	Hyundai	37312	507	608,4
12	2	Renault Zoe	Renault	35706	395	474
13	12	Mini Hatch	Mini	34764	234	280,8
14	20	Renault Megane	Renault	32641	470	564
15	47	Cupra Born	Cupra	32405	339	406,8
16	24	Polestar 2	Polestar	31734	542	650,4
17	29	Volvo XC40	Volvo	29066	533	639,6
18	11	Nissan Leaf	Nissan	28816	385	462
19	40	Kia EV6	Kia	28786	510	612
20	30	Opel Mokka	Opel	28303	406	487,2
21	17	Opel Corsa	Opel	27938	337	404,4
22	15	Peugeot 2008	Peugeot	27906	322	386,4
23	25	Audi Q4	Audi	27858	500	600
24	18	Renault Twingo	Renault	26854	190	228
25	60	BMW i4	BMW	25512	589	706,8
26	20	Ford Mach-E	Ford	25390	540	648
27	44	BMW iX	BMW	24472	633	759,6
28	22	Mercedes EQA	Mercedes	23968	530	636
29	23	Audi e-tron	Audi	22633	446	535,2
30	31	BMW iX3	BMW	21979	462	554,4
31	-	Volkswagen ID.5	Volkswagen	21103	500	600
32	32	Citroen C4	Citroen	19993	420	504
33	19	BMW i3	BMW	19844	300	360
34	26	MG ZS	MG	19146	440	528
35	27	Porsche Taycan	Porsche	18565	512	614,4
36	56	Volvo C40	Volvo	18056	476	571,2
37	10	Volkswagen up	Volkswagen	17900	258	309,6
38	13	Smart Fortwo	Smart	17586	160	192
39	28	Mercedes EQC	Mercedes	17192	497	596,4
40	71	Mercedes EQB	Mercedes	16427	504	604,8
41	49	Audi Q4 Sportback	Audi	14469	520	624
42	41	MG 5	MG	14067	400	480
43	34	audi e-tron Sportback	audi	11440	446	535,2
44	59	MG Marvel R	MG	8538	402	482,4
45	78	Mercedes EQE	Mercedes	8376	530	636
46	-	MG 4	MG	7420	450	540
47	52	Mercedes EQS	Mercedes	6988	741	889,2
48	43	Audi e-tron GT	Audi	6517	487	584,4
49	39	Jaguar I-Pace	Jaguar	6516	480	576
50	33	Mazda MX-30	Mazda	5917	200	240

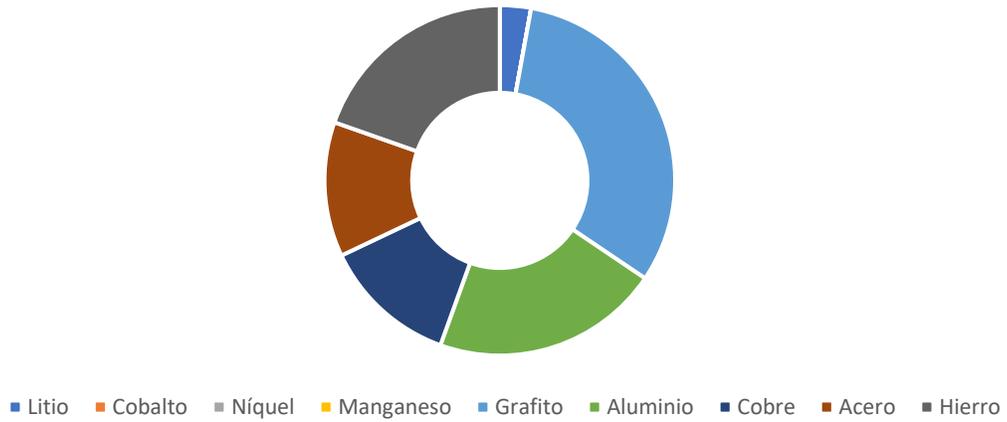
Tabla venta de vehículos por tipo de carburante y fecha

Año	Periodo	Híbridos, eléctricos y otros	Gasolina	Diésel
2017	Septiembre	5.518	36.064	41.709
2017	Octubre	6.799	49.381	43.411
2017	Noviembre	6.836	50.882	46.512
2017	Diciembre	6.464	51.316	45.164
2018	Enero	7.567	51.644	42.450
2018	Febrero	6.974	61.346	42.155
2018	Marzo	7.313	74.806	46.061
2018	Abril	8.457	65.282	42.694
2018	Mayo	9.690	77.962	47.873
2018	Junio	11.653	80.247	50.497
2018	Julio	11.038	72.916	47.228
2018	Agosto	9.180	58.187	40.325
2018	Septiembre	7.355	36.381	25.393
2018	Octubre	9.761	49.675	28.975
2018	Noviembre	9.451	53.806	27.806
2018	Diciembre	13.918	57.279	32.021
2019	Enero	10.355	56.155	27.028
2019	Febrero	10.008	60.612	30.073
2019	Marzo	12.180	77.439	33.045
2019	Abril	11.515	75.344	32.558
2019	Mayo	14.950	75.068	35.607
2019	Junio	13.999	82.728	33.792
2019	Julio	14.292	71.977	30.417
2019	Agosto	10.202	44.065	20.223
2019	Septiembre	11.890	46.779	23.082
2019	Octubre	13.474	52.757	27.730
2019	Noviembre	14.559	52.157	26.442
2019	Diciembre	13.918	61.109	30.826
2020	Enero	15.913	46.609	23.921
2020	Febrero	15.571	52.591	26.458
2020	Marzo	7.521	20.782	9.341
2020	Abril	465	2.486	1.212
2020	Mayo	6.290	17.328	10.719
2020	Junio	14.996	43.383	24.272
2020	Julio	23.924	62.953	31.052
2020	Agosto	13.830	34.711	18.384
2020	Septiembre	17.380	32.783	20.566
2020	Octubre	19.124	33.789	21.315
2020	Noviembre	21.667	32.980	21.061
2020	Diciembre	35.042	43.148	27.651
2021	Enero	11.912	19.406	10.648
2021	Febrero	16.922	27.868	13.489
2021	Marzo	25.350	41.835	18.634
2021	Abril	23.907	38.591	16.097
2021	Mayo	29.332	46.802	19.269
2021	Junio	34.457	44.702	17.626
2021	Julio	27.454	40.585	15.861
2021	Agosto	19.449	20.070	8.065
2021	Septiembre	24.466	24.187	10.988
2021	Octubre	24.854	23.796	10.393
2021	Noviembre	27.137	27.075	12.187
2021	Diciembre	35.127	32.984	17.970
2022	Enero	19.084	16.226	7.067
2022	Febrero	24.541	26.465	11.097
2022	Marzo	23.774	24.719	11.427
2022	Abril	26.821	30.102	12.188
2022	Mayo	32.525	38.334	14.118
2022	Junio	34.361	38.808	16.083
2022	Agosto	20.604	22.340	8.963
2022	Septiembre	29.522	25.550	12.168
2022	Octubre	28.176	26.236	11.554
2022	Noviembre	33.989	28.465	10.767
2022	Diciembre	32.302	29.484	12.141
2023	Enero	29.874	25.863	8.410
2023	Febrero	32.467	31.493	10.041
2023	Marzo	40.698	44.986	13.840
2023	Abril	31.186	32.413	11.150
2023	Mayo	39.915	40.535	11.575

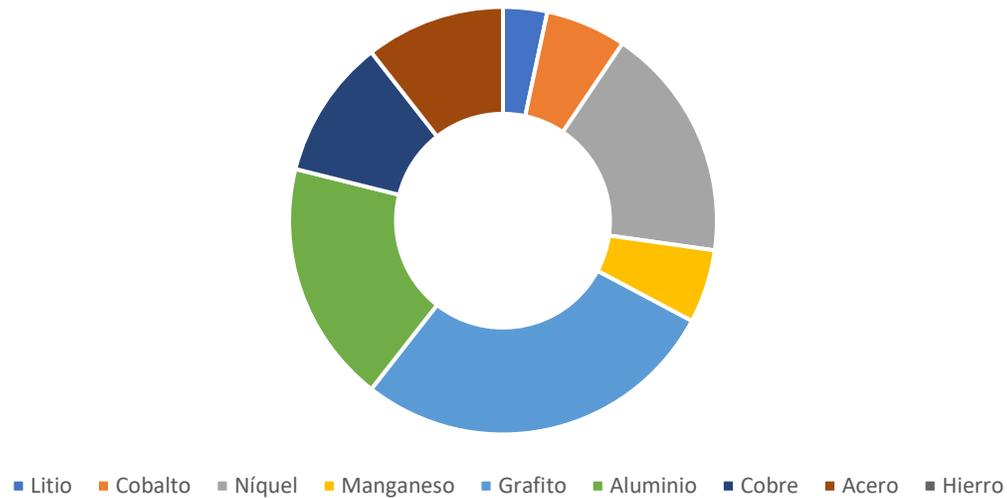
Composición baterías (por separado)



Composición Batería LFP 60 kWh



Composición Batería NMC622 60 kWh



Extracto del Proyecto de Ley Climático y de Transición Energética

TÍTULO IV

Movilidad sin emisiones y transporte

Artículo 14. Promoción de movilidad sin emisiones.

1. La Administración General del Estado, las Comunidades Autónomas y las Entidades Locales, en el marco de sus respectivas competencias, adoptarán medidas para alcanzar en el año 2050 un parque de turismos y vehículos comerciales ligeros sin emisiones directas de CO₂, de conformidad con lo establecido por la normativa comunitaria. A estos efectos el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima fijará para el año 2030 objetivos de penetración de vehículos matriculados con nulas o bajas emisiones directas de CO₂, según sus diferentes categorías.

2. En desarrollo de la estrategia de descarbonización a 2050 se adoptarán las medidas necesarias, de acuerdo con la normativa de la Unión Europea, para que los turismos y vehículos comerciales ligeros nuevos, excluidos los matriculados como vehículos históricos, no destinados a usos comerciales, reduzcan paulatinamente sus emisiones, de modo que no más tarde del año 2040 sean vehículos con emisiones de 0 g CO₂/km de conformidad con lo establecido por la normativa comunitaria. A tal efecto, previa consulta con el sector, se pondrán en marcha medidas que faciliten la penetración de estos vehículos, que incluirán medidas de apoyo a la I+D+i.

3. Los municipios de más de 50.000 habitantes y los territorios insulares adoptarán antes de 2023 planes de movilidad urbana sostenible que introduzcan medidas de mitigación que permitan reducir las emisiones derivadas de la movilidad incluyendo, al menos:

- a) El establecimiento de zonas de bajas emisiones antes de 2023.
- b) Medidas para facilitar los desplazamientos a pie, en bicicleta u otros medios de transporte activo, asociándolos con hábitos de vida saludables, así como corredores verdes intraurbanos que conecten los espacios verdes con las grandes áreas verdes periurbanas.
- c) Medidas para la mejora y uso de la red de transporte público, incluyendo medidas de integración multimodal.
- d) Medidas para la electrificación de la red de transporte público y otros combustibles sin emisiones de gases de efecto invernadero, como el biometano.
- e) Medidas para fomentar el uso de medios de transporte eléctricos privados, incluyendo puntos de recarga.
- f) Medidas de impulso de la movilidad eléctrica compartida.
- g) Medidas destinadas a fomentar el reparto de mercancías y la movilidad al trabajo sostenibles.
- h) El establecimiento de criterios específicos para mejorar la calidad del aire alrededor de centros escolares, sanitarios u otros de especial sensibilidad, cuando sea necesario de conformidad con la normativa en materia de calidad del aire.
- i) Integrar los planes específicos de electrificación de última milla con las zonas de bajas emisiones municipales.

Lo dispuesto en este apartado será aplicable a los municipios de más de 20.000 habitantes cuando se superen los valores límite de los contaminantes regulados en Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

Los planes de movilidad urbana sostenible habrán de ser coherentes con los planes de calidad del aire con los que, en su caso, cuente el municipio con arreglo a lo previsto en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

Se entiende por zona de baja emisión el ámbito delimitado por una Administración pública, en ejercicio de sus competencias, dentro de su territorio, de carácter continuo, y en el que se aplican restricciones de acceso, circulación y estacionamiento de vehículos para mejorar la calidad del aire y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, conforme a la clasificación de los vehículos por su nivel de emisiones de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Vehículos vigente.

Cualquier medida que suponga una regresión de las zonas de bajas emisiones ya existentes deberá contar con el informe previo del órgano autonómico competente en materia de protección del medio ambiente.

Artículo 15. Instalación de puntos de recarga eléctrica.

1. El Gobierno pondrá a disposición del público la información de los puntos de recarga eléctrica para vehículos de acceso público, dentro del año posterior a la entrada en vigor de esta ley, a través del Punto de Acceso Nacional de información de tráfico en tiempo real gestionado por el organismo autónomo Jefatura Central de Tráfico. Para ello, con carácter previo, los prestadores del servicio de recarga eléctrica deberán remitir por medios electrónicos al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico información actualizada de la localización, características, y disponibilidad de dichas instalaciones, así como del precio de venta al público de la electricidad o del servicio de recarga.

El Gobierno velará especialmente por el cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 639/2016, de 9 de diciembre, por el que se establece un marco de medidas para la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos, de acuerdo con los informes que se prevén por la Directiva 2014/94/UE, de 22 de octubre de 2014, relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos, en lo relativo a garantizar la interoperabilidad de los puntos de recarga accesibles al público.

2. Quienes ostenten la titularidad de las instalaciones de suministro de combustibles y carburantes a vehículos cuyo volumen anual agregado de ventas de gasolina y gasóleo A en 2019 sea superior o igual a 10 millones de litros instalarán, por cada una de estas instalaciones, al menos una infraestructura de recarga eléctrica de potencia igual o superior a 150 kW en corriente continua, que deberá prestar servicio en un plazo de veintinueve meses a partir de la entrada en vigor de esta ley.

3. Quienes ostenten la titularidad de las instalaciones de suministro de combustibles y carburantes a vehículos cuyo volumen anual agregado de ventas de gasolina y gasóleo A en 2019 sea superior o igual a 5 millones de litros y menor a 10 millones de litros, instalarán, por cada una de estas instalaciones, al menos una infraestructura de recarga eléctrica de potencia igual o superior a 50 kW en corriente continua, que deberá prestar servicio en un plazo de veintisiete meses a partir de la entrada en vigor de esta ley.

4. En el caso de que en una provincia, Ciudad Autónoma o isla no exista ninguna instalación de suministro de combustibles y carburantes a vehículos cuyo volumen anual agregado de ventas de gasolina y gasóleo A en 2019 sea superior o igual a 5 millones de litros, quienes ostenten la titularidad de las instalaciones que, ordenadas de mayor a menor volumen de ventas anuales agregadas de gasolina y gasóleo, conjunta o individualmente alcancen al menos el 10% de las ventas anuales totales en las citadas áreas geográficas en el año 2019 instalarán, por cada una de estas instalaciones, al menos una infraestructura de recarga eléctrica de potencia igual o superior a 50 kW en corriente continua, que deberá prestar servicio en un plazo de 27 meses a partir de la entrada en vigor de esta ley.

5. A partir de 2021, quienes ostenten la titularidad de las instalaciones nuevas de suministro de combustible y carburantes a vehículos o que acometan una reforma en su instalación que requiera una revisión del título administrativo, independientemente del volumen anual agregado de ventas de gasolina y gasóleo de la instalación, instalarán al menos una infraestructura de recarga eléctrica de potencia igual o superior a 50 kW en corriente continua, que deberá prestar servicio desde la puesta en funcionamiento de la instalación o finalización de la reforma de la misma que requiera una revisión del título administrativo.

6. Mediante Orden de la persona titular del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, con la participación de las Comunidades Autónomas, se establecerá el listado de instalaciones de suministro de combustibles y carburantes obligadas por los apartados segundo, tercero, cuarto y quinto de este artículo, así como las excepciones e imposibilidades técnicas para su cumplimiento.

7. En el año 2023, y a partir de entonces bianualmente, mediante Resolución de la Secretaría de Estado de Energía se establecerá el listado de nuevas instalaciones de suministro de combustibles y carburantes obligadas por el apartado octavo de este artículo, así como de las excepciones e imposibilidades técnicas para su cumplimiento.

8. Las instalaciones de suministro de combustibles y carburantes que dos años antes de la publicación de las resoluciones a la que hace referencia el apartado séptimo de este artículo superen el umbral de ventas anuales de gasolina y gasóleo A que se establece en los apartados segundo y tercero de este artículo estarán obligadas a la instalación de al menos una infraestructura de recarga eléctrica en

los mismos términos y plazos que los indicados en dichos apartados. Los plazos de puesta en servicio de las infraestructuras de recarga se entenderán iniciados desde la publicación de las resoluciones a las que hace referencia el apartado séptimo de este artículo.

9. Mediante Orden de la persona titular del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico se establecerá la regulación del contenido y forma de remisión de la información de los puntos de recarga al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico por parte de los prestadores del servicio de recarga.

10. El Código Técnico de la Edificación establecerá obligaciones relativas a la instalación de puntos de recarga de vehículo eléctrico en edificios de nueva construcción y en intervenciones en edificios existentes. Sin perjuicio de lo anterior, antes del 1 de enero de 2023, todos los edificios de uso distinto al residencial privado que cuenten con una zona de uso aparcamiento con más de veinte plazas, ya sea en el interior o en un espacio exterior adscrito, deberán cumplir la exigencia relativa a las dotaciones mínimas para la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos que establezca el Código Técnico de la Edificación. Reglamentariamente se regularán las obligaciones relativas a la instalación de puntos de recarga de vehículo eléctrico en aparcamientos no integrados en edificaciones.

11. En el caso de concesiones en redes estatales de carreteras, las obligaciones a que se refieren los apartados 2, 3, 4, 5 y 6 de este artículo corresponderán a las personas concesionarias de las mismas. El régimen de obligaciones será el mismo que el establecido para quienes ostenten la titularidad de instalaciones de suministro de combustibles y carburantes a vehículos, conforme a lo indicado en los citados apartados de este artículo.

12. El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana y el Ministerio del Interior incorporarán en el Catálogo oficial de señales de circulación las señales necesarias para que las personas usuarias puedan identificar la ubicación y principales características de los puntos de recarga en las vías. Ambos departamentos y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico acordarán el contenido e imagen de dichas señales.

Para el diseño y la ubicación de los puntos de recarga se tendrán en cuenta criterios de accesibilidad universal.