



MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

El futuro de las baterías eléctricas en la automoción europea

Autor: Santiago García Prieto

Director: Juan Norverto Moriñigo

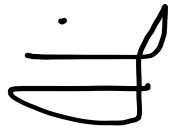
Madrid, Julio 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
El futuro de las baterías eléctricas en la automoción europea
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 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.: Santiago García Prieto

Fecha: 17/07/2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo Fecha:



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

El futuro de las baterías eléctricas en la automoción europea

Autor: Santiago García Prieto
Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid, Julio 2023

EL FUTURO DE LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS EN LA AUTOMOCIÓN EUROPEA

Autor: García Prieto, Santiago.

Director: Norberto Moriñigo Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente trabajo pretende hacer frente a la incipiente necesidad de un análisis de mercado exhaustivo, predicción, y recopilación de datos referentes a los proyectos de giga fábricas de baterías eléctricas a bordo de los vehículos y autobuses que se están llevando a cabo o se llevarán en Europa. Para hacer frente a la presión y monopolio del mercado por parte de China, Europa está llevando a cabo numerosos proyectos en el ámbito de la fabricación de las baterías.

Sin embargo, todavía existe cierta incertidumbre acerca de cuál será la tecnología de batería más competitiva y adecuada para el correcto tránsito hacia la descarbonización del sector, teniendo en cuenta la cadena de valor y suministro completa de los vehículos de este tipo, así como de sus baterías. Para ello, el trabajo pretende aportar una herramienta de almacenamiento de datos que sirvan como punto de partida para elaborar este análisis. No sólo se crea la herramienta, sino que también se recopila una parte de estos datos, y se elaboran algunos ejemplos de análisis, como pueden ser de sensibilidad o financiero. Mediante una base de datos SQL, se pretende aportar un esquema que pueda reunir toda la información necesaria para poder obtener conclusiones más realistas y detalladas acerca de cuál será el panorama en los próximos años, en cuanto a capacidad, tecnología, principales actores, y demás parámetros a considerar. Sería la base de datos de partida para poder trabajar con ellos y desarrollar modelos o algoritmos con ellos.

Palabras clave: Vehículos eléctricos, baterías eléctricas, LFP, NMC, base de datos, descarbonización, giga fábricas.

1. Introducción

La sociedad actual se está viendo obligada a cambiar sus hábitos de consumo y de vida debido al negativo impacto que ha estado teniendo con el medio ambiente durante los últimos siglos, y en especial las últimas décadas. Por ello, diferentes sectores de la actividad económica, como es el sector transportes, se están viendo obligados a reducir sus emisiones durante toda la cadena de suministro de sus productos. Por lo tanto, los vehículos eléctricos se están presentando en los últimos años como la principal alternativa a los vehículos de combustión, consiguiendo llegar a autonomías parecidas y con precios no tan elevados como los que había hace una década.

De los diversos componentes que tiene un vehículo eléctrico, el más diferenciador respecto a un vehículo de combustión interna (además del motor), es la batería eléctrica. Puesto que este es el medio de almacenamiento a cargo de un EV (“Electric Vehicle”), su requerimiento de capacidad es mucho mayor que la de un vehículo de combustión interna (ICE de ahora en adelante), con las consecuencias de precio, suministro, y peso que tiene en el vehículo. Aún así, la industria automotriz ha tratado de rebajar los precios y sigue en un proceso de búsqueda de la mejor alternativa posible. Existen todavía dudas acerca de qué alternativa tendrá más presencia en Europa, y, sobre todo, cómo evolucionarán. Las principales alternativas, LFP y NMC, con sus ventajas e inconvenientes, siguen siendo las principales candidatas del mercado, aunque empiezan a existir nuevas variantes que afectan tanto al cátodo como al ánodo y al electrolito de la batería. Sin embargo, existe una falta de unión y cohesión en los datos existentes acerca de este mercado de baterías eléctricas para los vehículos eléctricos.

2. Definición del proyecto

En relación con la falta de unión de los datos de las baterías explicada en el apartado anterior, y, sobre todo, de sus fabricantes, el presente proyecto pretende crear una base de datos para poder almacenar los datos de todas las empresas, fábricas, y tecnologías que se van a desarrollar o se están desarrollando en Europa en los próximos años. Este sería el comienzo para poder trabajar con los datos de una manera más unificada, mientras que no existe hoy en día en el Estado del Arte. También se pretende aportar algún ejemplo de análisis que se podría hacer con la base de datos creada.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Para ello, se crea primero un esquema lógico relacional de base de datos con claves primarias y foráneas que identifiquen las diferentes entradas de las tablas de manera inequívoca. Posteriormente se crea en SQL la base de datos con las tablas correspondientes y las relaciones lógicas mencionadas, para después rellenarla, con datos reales en algunos de los casos, ficticios en otros, y simplemente nulos en otros. Una vez la base de datos está rellena de registros, se pueden realizar consultas que serían de utilidad para tener una primera idea del mercado y de la realidad de este. A partir de ahí se podría usar esta base para realizar algoritmos, análisis, estudios, o modelos. Todo ha sido programado en SQL.

Cabe destacar que una parte del proyecto ha consistido también en la realización de diferentes análisis con los datos recopilados. Se trata de dos principales análisis: de sensibilidad de las cuotas de mercado ante un cambio de NMC a LFP en la parte desconocida de esta, y de análisis financiero de una de las plantas. Esto sirve a modo complementario y explicativo del tipo de cosas que se podrían hacer con una base de datos completa como la mostrada en este trabajo.

4. Resultados

El resultado de la consulta principal de la tesis se muestra a continuación. Sobre él se han unido tres tablas con el objetivo de crear una nueva explicativa. Se han añadido las tablas que contienen la información de las fábricas, así como su actividad, y el tipo de valor de la producción que está teniendo en su actividad. Para este fin, se ha utilizado una instrucción JOIN doble. En ella se han seleccionado columnas específicas, y el tipo de producción que se pretende ver es el correspondiente a la química del cátodo NMC. Se ha incluido la empresa, ubicación de la planta, valor de la producción y año.

	Empresa	Localizacion	Pais	Descripcion	Valor	Año
▶	BasqueVolt	Vitoria	España	Produccion NMC (GWh)	13	2028
	ACC	Billy-Berclau	Francia	Produccion NMC (GWh)	24	2028
	Envision AESC	Douai	Francia	Produccion NMC (GWh)	18	2028
	Verkor	Dunkirk	Francia	Produccion NMC (GWh)	35	2028

La otra consulta principal de la tesis es la que, con una simple instrucción JOIN, fusiona las tablas “Fabrica” y “Empresa”, como se muestra a continuación, seleccionando únicamente las columnas necesarias o de interés.

	Empresa	Localizacion	Pais	Pais_Sede	Año_Fundacion
▶	ACC	Billy-Berclau	Francia	Francia	2019
	BasqueVolt	Vitoria	España	España	2021
	Envision AESC	Navalmoral de la Mata	España	Japon	2009
	Envision AESC	Douai	Francia	Japon	2009
	Phi4Tech	Badajoz	España	España	2018
	Verkor	Dunkirk	Francia	Francia	2020
	Volkswagen	Sagunto	España	Alemania	1937

5. Conclusiones

- Se necesita una Base de Datos relacional para hacer frente a la falta de unidad en cuanto a registros de giga fábricas en Europa.
- Este tipo de proyectos, con una inversión de 4500 M€, se tendría un periodo de retorno de alrededor de 20 años y un VAN positivo, la rentabilidad es alta, aunque enfrentan algunos riesgos como inflación o competidores externos.
- Todavía hay mucha incertidumbre sobre qué tecnología liderará el mercado, representando la incertidumbre o lo desconocido un 40% de la cuota total.
- Aún queda mucho trabajo por hacer en cuanto a modelos y algoritmos que permitan una mejor comprensión del mercado. El primer paso fue desarrollar una base de datos.
- La tecnología de química catódica LFP aumentará su cuota de mercado incluso en el escenario más pesimista.
- Las tecnologías de tipo “otros” también aumentarán su cuota de mercado, aún en los escenarios más desfavorables. La tecnología de tipo “otros” se corresponden a electrolitos de estado sólido, a super capacitadores, o a cátodos de Litio metal, entre otros.

THE FUTURE OF ELECTRIC BATTERIES IN THE EUROPEAN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Author: García Prieto, Santiago.

Director: Norberto Morriño, Juan.

Collaborating Entity: ICAI - Comillas Pontifical University

ABSTRACT

This paper aims to address the emerging need for comprehensive market analysis, forecasting, and data collection regarding Gigafactory projects for electric batteries on board vehicles and buses that are taking place or will take place in Europe. To face the pressure and monopoly of the market by China, Europe is carrying out numerous projects in the field of battery manufacturing.

However, there is still some uncertainty about which will be the most competitive and appropriate battery technology for the correct transition towards decarbonization of the sector, considering the entire value and supply chain of vehicles of this type, as well as their batteries. To do this, the work aims to provide a data storage tool that serves as a starting point to develop this analysis. Not only is the tool created, but a part of this data is also collected, and some analysis and examples are elaborated, such as sensitivity, financial, etc. Through an SQL database, it is intended to provide a scheme that can gather all the necessary information to be able to obtain more realistic and detailed conclusions about what the outlook will be in the coming years, in terms of capacity, technology, main players, and other parameters to consider. It would be the starting database to be able to work with them and develop models or algorithms.

1. Introduction

Today's society is being forced to change its consumption and life habits due to the negative impact it has been having on the environment in recent centuries, and especially in recent decades. For this reason, different sectors of economic activity, such as the transport sector, are being forced to reduce their emissions throughout the product supply chain. Therefore, electric vehicles have been appearing in recent years as the main

alternative to combustion vehicles, managing to reach similar autonomies and with prices not as higher than those of a decade ago.

In relation to the lack of union explained in the previous section referring to the data of these batteries, and, above all, of their manufacturers, the present project intends to create a database to be able to store the data of all the companies, factories, and technologies that are to be developed or are being developed in Europe in the coming years. This would be the beginning to be able to work with the data in a more unified way, while it does not exist today in the State of the Art. It is also intended to provide some examples of analysis that could be done with the database created.

2. Definition of the Project

In relation to the lack of union explained in the previous section referring to the data of these batteries, and, above all, of their manufacturers, the present project intends to create a database to be able to store the data of all the companies, factories, and technologies that are to be developed or are being developed in Europe in the coming years. This would be the beginning to be able to work with the data in a more unified way, while it does not exist today in the State of the Art. It is also intended to provide some examples of analysis that could be done with the database created.

3. Description of the model / system / tool

To do this, a logical relational database schema is first created with primary and foreign keys that uniquely identify the different table entries. Subsequently, the database is created in SQL with the corresponding tables and the mentioned logical relationships, to later fill it in, with real data in some of the cases, fictitious in others, and simply null in others. Once the database is filled with records, queries can be made that would be useful to get a first idea of the market and its reality. From there, this base could be used to relate algorithms, analyses, studies, or models. Everything has been programmed in SQL.

It should be noted that part of the project has also consisted of carrying out different analyzes with the data collected. Two main analyzes have been dealt with: sensitivity, and financial analysis of one of the plants. This serves as a complementary and explanatory way of the type of things that could be done with a complete database like the one shown in this work.

4. Results

The result from the main query of the thesis is shown below. On it, three tables have been joined with the aim of creating a new explanatory one. The tables containing the information of the factories, as well as their activity, and the type of value of the production which is having in its activity has been added. A double JOIN statement has been used for this aim. On it, specific columns have been selected and the type of production aimed to see is the one corresponding to the NMC cathode chemistry. The company, location of the plant, value of production, and year, has been included.

	Empresa	Localizacion	Pais	Descripcion	Valor	Año
▶	BasqueVolt	Vitoria	España	Produccion NMC (GWh)	13	2028
	ACC	Billy-Berclau	Francia	Produccion NMC (GWh)	24	2028
	Envision AESC	Douai	Francia	Produccion NMC (GWh)	18	2028
	Verkor	Dunkirk	Francia	Produccion NMC (GWh)	35	2028

The other main query of the thesis is the one which, with a simple JOIN statement, merges the tables “Fabrica” and “Empresa”, as it is shown below. Only the selected columns in the query are shown in the display.

	Empresa	Localizacion	Pais	Pais_Sede	Año_Fundacion	
▶	ACC	Billy-Berclau	Francia	Francia	2019	
	BasqueVolt	Vitoria	España	España	2021	
	Envision AESC	Navalmoral de la Mata	España	Japon	2009	
	Envision AESC	Douai	Francia	Japon	2009	
	Phi4Tech	Badajoz	España	España	2018	
	Verkor	Dunkirk	Francia	Francia	2020	
	Volkswagen	Sagunto	Sagunto	España	Alemania	1937

5. Conclusions

- A relational database is needed to deal with the lack of unity in terms of records of giga factories in Europe.
- This type of project, with an investment of €4,500 M, will have a payback period of around 20 years and a positive NPV. The profitability is high, although it faces some risks such as inflation or external competitors.
- There is still a lot of uncertainty about which technology will lead the market, with uncertainty or the unknown representing 40% of the total share.

- There is still a lot of work to be done in terms of models and algorithms that allow a better understanding of the market. The first step was to develop a database.
- LFP cathodic chemistry technology will cancel out its market share even in the most pessimistic scenario”.
- “Other” type of technologies will also break their market share, even in the most unfavorable scenarios. The “other” type technology corresponds to solid state electrolytes, super capacitors, or lithium metal cathodes, among others.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	15
Índice de tablas	17
Índice de figuras	18
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 Contexto.....	19
1.2 Estado del arte	21
1.3 Motivación.....	24
1.4 Objetivos del proyecto.....	24
1.5 Metodología del proyecto	25
1.6 Recursos empleados	27
2 SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL ACTUAL	28
3 SECTOR AUTOMOVILÍSTICO	32
3.1 Historia	32
3.2 Presente y futuro	33
4 BATERÍAS ELÉCTRICAS	36
4.1 Principio de funcionamiento y partes	36
4.2 Tipos de baterías de iones de litio	37
4.2.1 Según la composición del cátodo	37
4.2.2 Cadena de valor y principales actores en el mercado.....	39
5 PANORAMA EUROPEO DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS	44
5.1 Introducción al modelo	44
5.2 Hipótesis realizadas	44
5.3 Metodología.....	45
5.4 Resultados.....	46
5.4.1 Caso base. Incertidumbre	47
5.4.2 Caso favorable al NMC	48
5.4.3 Caso favorable a LFP	49
5.4.4 Análisis de sensibilidad e implicaciones económicas	50

5.4.5	Caso de estudio: planta de Volkswagen en Sagunto	50
6	PANORAMA EUROPEO DE AUTOBUSES ELÉCTRICOS URBANOS	56
6.1	Introducción.....	56
6.2	Metodología.....	56
6.3	Resultados.....	57
7	BASE DE DATOS DE GIGAFACTORÍAS.....	60
7.1	Esquema lógico.....	60
7.2	Creación de la base de datos.....	61
7.3	Introducción de registros en la base de datos	63
7.4	Consultas en la base de datos	64
7.5	Resultados de las consultas.....	66
8	CONCLUSIONES	69
9	FUTUROS TRABAJOS.....	70
10	BIBLIOGRAFÍA	71

Índice de tablas

Tabla 1. Cronología del trabajo (Autoría Propia).....	26
Tabla 2. Tipos de baterías de iones de Litio según su composición del cátodo (Autoría Propia)	38
Tabla 3. Recopilación de datos de las diferentes giga fábricas de Europa (Autoría Propia)	46
Tabla 4. Parámetros que considerar para los cálculos (Autoría Propia).....	50
Tabla 5. Valores del NPV y del TIR de la inversión realizada por Volkswagen (Autoría Propia)	53
Tabla 6. Medidas financieras de la planta de Sagunto (2023-2030), (Autoría Propia) ..	55
Tabla 7. Cuota de mercado según ventas de los principales fabricantes de autobuses urbanos europeos (Autoría Propia).....	58
Tabla 8. Variables y tipos de variable de la base de datos (Autoría Propia).....	61
Tabla 9. Resultados de la tabla Pais (Autoría Propia)	66
Tabla 10. Resultados de la tabla Actividad_Pais (Autoría Propia)	66
Tabla 11. Resultados de la tabla Actividad_Empresa (Autoría Propia)	66
Tabla 12. Resultados de la tabla Fabrica (Autoría Propia).....	67
Tabla 13. Resultados de la tabla Tipo_Valores_Fabrica (Autoría Propia).....	67
Tabla 14. Resultados de la tabla Activdad _Fabrica (Autoría Propia)	67
Tabla 15. Resultados de la consulta de los países con 3 o más giga fábricas (Autoría Propia)	67
Tabla 16. Resultado de la consulta de las empresas con sede en Alemania (Autoría Propia)	68
Tabla 17. Resultado de la consulta de las empresas con más de 2000 empleados y año 2023 (Autoría Propia).....	68
Tabla 18. Consulta sobre las empresas que producen NMC (Autoría Propia).....	68
Tabla 19. Consulta de JOIN entre Fabrica y Empresa (Autoría Propia).....	68

Índice de figuras

Figura 1. Proyectos de giga factorías en Europa en lo que resta de década [19]	24
Figura 2. Evolución de las emisiones del CO2 en el mundo [20]	28
Figura 3. Gases de efecto invernadero [21]	29
Figura 4. Emisiones de gases de efecto invernadero entre 2010 y 2022 por sector [22]	29
Figura 5. Emisiones del sector transporte según medio de transporte en el 2019 [23] ...	30
Figura 6. Producción mundial de vehículos desde 1900 hasta 2016 por país [24]	33
Figura 7. Evolución de la temperatura global de la tierra desde 1890 hasta 2020 [24] .	34
Figura 8. Evolución estimada de las ventas y cuota de mercado de cada tipo de vehículo según su propulsión [25]	35
Figura 9. Funcionamiento de una batería de iones de litio [27]	37
Figura 10. Tipos de baterías de iones de Litio y características [28]	38
Figura 11. Comparativa numérica entre las diferentes tecnologías [30]	39
Figura 12. Cadena de valor de las baterías de iones de litio [31]	40
Figura 13. Panorama mundial de la minería de los materiales para las baterías de iones de Litio [32]	41
Figura 14. Dominio de China en la cadena de valor de las baterías de iones de litio [33]	42
Figura 15. Proyectos de giga factorías en Europa en lo que resta de década	44
Figura 16. Fabricación de celdas de baterías en Europa según tecnología, caso base ...	47
Figura 17. Fabricación de celdas de baterías en Europa según tecnología, caso NMC .	48
Figura 18. Fabricación de celdas de baterías en Europa según tecnología, caso LFP....	49
Figura 19. Margen neto de las principales empresas de baterías [37]	51
Figura 20. Evolución del precio medio de las baterías en los últimos 10 años [39]	52
Figura 21. Reparto de modos de transporte por número de desplazamientos [42]	56
Figura 22. Cuota de cada tecnología de baterías en el mercado de autobuses eléctricos	58
Figura 23. Distribución final del mercado según tecnología de las baterías	59
Figura 24. Esquema lógico de la base de datos	60

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

La sociedad actual se está enfrentando en los últimos años a una época de grandes cambios en lo que a sus costumbres se refiere. La incipiente necesidad de reducir el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente provoca que los hábitos de consumo de las personas, así como las fuentes de energía para sustentar la economía actual, deban ser cambiados. En 2019, 36700 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono fueron emitidas a la atmósfera, un 80% más que hace 20 años, cuando las emisiones eran de entorno a 23000 millones [1]. De hecho, no es el dióxido de carbono el único culpable del efecto invernadero, sino que también existen otros agentes como el vapor agua y las nubes (contribuyentes de un 50%), el metano (alrededor de un 7%), o el ozono, (5%), siendo el CO₂ responsable de un 20% [2], así como otros gases que también colaboran a este fenómeno. Se conoce como efecto invernadero a la tendencia de cierta radiación solar a permanecer en el espacio terrestre tras haber sido rebotada en la superficie de esta debido a la imposibilidad de esta a atravesar de vuelta algunos de gases existentes en la atmósfera. La incapacidad de estas ondas de volver al espacio es debida a su mayor tamaño de onda al rebotar en la superficie terrestre. El efecto invernadero, de hecho, es necesario para la habitabilidad del planeta, mientras que, en exceso, es perjudicial. Este es, de hecho, el punto en el que se encuentra el planeta actualmente, habiendo aumentado en 0,76 °C la temperatura media del planeta en los últimos 100 años [3].

Por ello, es necesario encontrar formas de energía menos contaminantes en todos los sectores cuyo impacto sobre el medio ambiente pueda reducirse. Desde el sector energético, donde las grandes centrales de combustibles fósiles son responsables de una cantidad importante de emisiones a la atmósfera, hasta el sector residencial, de servicios y comercial, o del transporte. La normativa europea fija unos estándares claros y concisos para la descarbonización de la economía del continente, destacando como una de las regiones más activas en cuanto a descarbonización se refiere. Mediante el acuerdo de París, se pretende fomentar la adaptación a los efectos adversos del cambio climático, estableciendo un objetivo mundial cualitativo fortaleciendo la resiliencia y reduciendo la vulnerabilidad, en una situación en la que los diferentes países integrantes están acusando las consecuencias de la subida de la temperatura media del globo terrestre [4].

Este tipo de medidas está en sintonía con algunas otras iniciativas a lo largo del planeta

como pueden ser la intención de China de ser neutral en carbono en 2060, o de EE. UU. en 2050 (esta última igual que la UE) [5]. Estas medidas pretenden reducir el calentamiento global y mejorar la calidad del aire que respiramos, paliando algunos de los efectos principales que está acusando el planeta. Algunos de ellos son el deshielo de las masas glaciares, las inundaciones de islas y ciudades costeras, huracanes más devastadores, o el impacto en la ganadería y agricultura, entre otros [6]. Sólo en los últimos 10 años, la concentración ha pasado de 31,3 Gt de CO₂ en la atmósfera en 2011 a 33 Gt en 2023. Las causas de esta economía desenfrenada vienen de atrás. La ambición económica, así como el rápido y fácil acceso a las infraestructuras, tecnología, industria, inversión e investigación, han provocado que el progreso de la industria haya tomado estos pasos agigantados en las últimas décadas, pasando por diferentes revoluciones industriales ante los nuevos descubrimientos [7]. Actualmente, la tendencia es clara: sostenibilidad en todos los aspectos de la actividad económica, menor impacto ambiental, y mayor incursión de las últimas tecnologías para mejorar eficiencias con menores recursos, es decir, para mejorar las dos primeras causas.

De entre los principales sectores industriales con mayor impacto en el medio ambiente, destaca el sector transporte. Desde la creación del vehículo privado, la industria automovilística no ha hecho más que crecer a pasos agigantados ante la creciente demanda de vehículos. Más allá de los transportes pesados, como los marítimos, aéreos, autobuses y trenes, la sociedad siempre ha mostrado un cierto apego a la posibilidad de poder viajar cuando y adonde quieran de manera privada, aportándoles libertad. He aquí donde se encuentra la alternativa del vehículo privado, o coche. Sin embargo, tras el paso de los años la industria ha tenido y tiene que adaptarse a las nuevas tendencias ambientales y económicas. Siendo el sector responsable de un 14% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera [8], la necesidad de evolucionar hacia nuevas tecnologías con menos impacto ambiental es real. He aquí donde la industria encontró la solución de la electrificación. La electricidad es un vector energético que se puede emplear como medio de propulsión (véase en motores eléctricos), o con otros muchos fines. La posibilidad de obtenerla de fuentes de generación renovables hace que se presente como una alternativa limpia para propulsar un motor eléctrico a bordo de un vehículo. De esta manera, se estaría eliminando el requerimiento de combustibles fósiles cuya combustión emite residuos altamente contaminantes. Aunque la industria haya hecho avances en los últimos años al respecto de los combustibles fósiles (como el empleo de mejores catalizadores, la incursión del gas natural, o la mayor eficiencia en la combustión), parece que el motor eléctrico será la principal alternativa del futuro, a la espera de ver la incursión que tendrá el hidrógeno en este sector. En todo caso, la existencia de un motor eléctrico y una batería

es la misma para una alternativa u otra [9].

Por lo tanto, la industria del automóvil necesita que las nuevas alternativas ofrezcan una reducción clara de gases de efecto invernadero a lo largo de toda la vida útil del vehículo. Para ello, no sólo es necesario que se reduzcan las emisiones en la utilización del propio vehículo, sino en la fabricación de todos los componentes de este, así como en su reciclaje. Los principales componentes diferenciadores de un vehículo eléctrico son el motor y la batería eléctrica. Mientras que un vehículo de combustión interna tiene una batería media de 5 kWh, uno eléctrico tiene otra de 60 kWh, existiendo diferentes capacidades dependiendo del tipo de vehículo y de la autonomía necesaria [10]. Ante la incipiente electrificación del parque automovilístico, se está generando un incremento en la demanda de baterías eléctricas, y con ella la demanda de sus componentes, de la investigación sobre ellas, así como una reducción en sus precios, una oferta más variada, y una mayor preocupación acerca de su sostenibilidad.

Esto último se debe a que las baterías eléctricas tienen un impacto ambiental grande en cuanto a su reciclaje, y en cuanto a la minería de los materiales que la componen se refiere. Más en detalle, las principales desventajas que estas tienen son los elementos tóxicos que las componen, el insumo energético necesario para su fabricación, su inflamabilidad y por ende seguridad a bordo, su reciclaje, su precio, y la escasez de ciertos materiales. Por lo tanto, la industria de la batería eléctrica se encuentra en un momento álgido en cuanto a investigación y desarrollo en gran escala se refiere, planteándose diferentes alternativas o combinaciones que permitan minimizar las desventajas mencionadas con anterioridad [11].

1.2 Estado del arte

En primer lugar, cabe destacar el trabajo en el área de la electrificación en general. Esta es una línea de trabajo muy amplia que abarca diferentes materias, desde el sector eléctrico en cuanto a todos sus agentes, a debates económicos, hasta otros sectores como el residencial, comercial, o de transportes, ámbito de estudio de este trabajo. Por ello, la revisión bibliográfica de estudios relacionados con el ámbito de la electrificación y la reducción del consumo en general se llevará a cabo, pero en especial atendiendo al sector transportes, y en especial al del transporte terrestre y eléctrico. En estas líneas de investigación se encuentran los trabajos [12] y [13].

Acerca de este ámbito de trabajo existen diversos estudios en profundidad. En primer

lugar, desde un punto de vista económico, se han elaborado diversas comparaciones entre los vehículos eléctricos, los de combustión interna, y el punto medio entre los dos, los híbridos. Se ha realizado especial hincapié en el componente más diferencial entre ellos, la batería eléctrica, que suponía un 21% del precio del vehículo en el 2019 [14], suponiendo un 17% en la actualidad, y se han elaborado numerosas estimaciones del precio futuro del vehículo atendiendo a la evolución estimada del precio de la batería. Así mismo, también se ha estudiado la posible evolución que tendrá el mercado de vehículos eléctricos. Estas estimaciones son necesarias para varios agentes. En primer lugar, para el gobierno, quien, a través de su hoja de ruta, debe de cumplir con ciertas directrices europeas. En segundo lugar, para Europa, quien ve como se cumplen (aunque no siempre), estas directrices, y el continente se descarboniza. A mayores, para las empresas, desde los propios fabricantes de vehículos, hasta los fabricantes de cargadores eléctricos, de baterías, de la infraestructura de recarga, de los encargados de darla una segunda vida a los componentes, etcétera. Es por ello por lo que el estudio de la evolución del mercado es también de especial interés para este trabajo como punto de partida de cuantos vehículos se pueden esperar en el continente, y de que capacidad de almacenamiento se puede estar hablando para la próxima década a bordo de estos. En todo caso, todos los trabajos elaborados en el ámbito del vehículo eléctrico y de las baterías eléctricas serán empleados para elaborar la primera parte de este trabajo, de introducción a las baterías eléctricas y de explicación del mercado actual y estimaciones previstas. En esta línea de investigación se encuentra el trabajo [15].

En segundo lugar, se encuentra la investigación acerca de las baterías eléctricas. Cabe destacar aquí los numerosos trabajos que pretenden predecir el precio que tendrán estos componentes en el futuro, esperando su reducción. Así mismo, son diversos los estudios comparativos entre las diferentes tecnologías, incluso los hay explicativos y predictivos de la cuota de mercado que tendrá cada una de ellas. La mayoría de estos últimos siendo de pago al poder servir con fines comerciales. Desde un punto de vista de la fabricación de baterías, en realidad este es el objetivo final de este trabajo. Las baterías eléctricas a bordo de los vehículos son, principalmente, de iones de Litio. Esta tecnología se ha convertido en la más popular en las últimas décadas, dejando en un segundo plano a otras como la de plomo ácido o la alcalina en la automoción. Aun así, existen diversos tipos de baterías de iones de Litio. En primer lugar, están las baterías NMC (Nickel Manganese Cobalto), que además de estos componentes, también llevan Litio en el cátodo. Estas baterías destacan por su mayor coste y mayor densidad energética, así como por presentar una menor seguridad, al ser más inflamables. Por otro lado, se encuentran las baterías LFP (Litio Hierro y Fosfato), que destacan por tener una densidad energética por unidad

de masa y volumen menor, pero con una menor inflamabilidad y unas ventajas en cuanto a las materias primas se refiere [16]. Actualmente el mercado se encuentra con una presencia mayor de las baterías de NMC, aunque las últimas tendencias apuntan a que la alternativa de LFP incrementara considerablemente su cuota de mercado en los próximos años. Esto se debe principalmente a aparición de tecnologías que permiten aumentar su densidad energética (principalmente debido a la transición del material del ánodo de grafito a silicón), a la vez que a la mayor seguridad que ofrecen, su menor coste, y la mayor simpleza de su composición en cuanto a los materiales que la componen. Por lo tanto, se presenta en los próximos años un panorama en el que los vehículos de entrada o de menor coste podrán tener baterías LFP en su interior, mientras que los vehículos más caros o con mayor potencial y requerimiento de espacio, llevarán NMC [17]. Las otras alternativas, como el LTO, los supercondensadores, o el estado sólido en el electrolito, o bien no han irrumpido lo suficiente en el mercado por desventajas que ofrecen, o bien la investigación todavía está en desarrollo y su potencial estará por ver en los próximos años, como es el caso del estado sólido o los supercondensadores. En esta línea de investigación se encuentra el trabajo [18].

En segundo lugar, se encuentran los trabajos acerca del panorama de fabricación de baterías eléctricas que habrá en el continente. En esta línea de investigación se encuentra el trabajo desarrollado por CIC EnergyGune. Este trabajo sirve como punto de partida al TFM en cuestión. La diferencia reside en que en este TFM se va un paso más allá y se especifica para cada una de las Giga factorías listadas por CIC EnergyGune tanto la capacidad (más en detalle y a lo largo de los años), como la química a desarrollar. El trabajo elaborado por el centro de investigación consiste en el mapeo de los diferentes proyectos de giga factorías que habrá en Europa en lo que resta de década. Este trabajo es especialmente útil puesto que sirve como punto de partida, consistiendo el contenido del TFM en una ampliación de la información dada, así como un tratamiento de esta información, elaboración de estimaciones, análisis de escenarios, etcétera. CIC EnergyGune es el centro de investigación asociado a BasqueVolt, empresa puntera en el desarrollo de baterías con electrolito de estado sólido. El trabajo mencionado de mapeo se muestra a continuación.

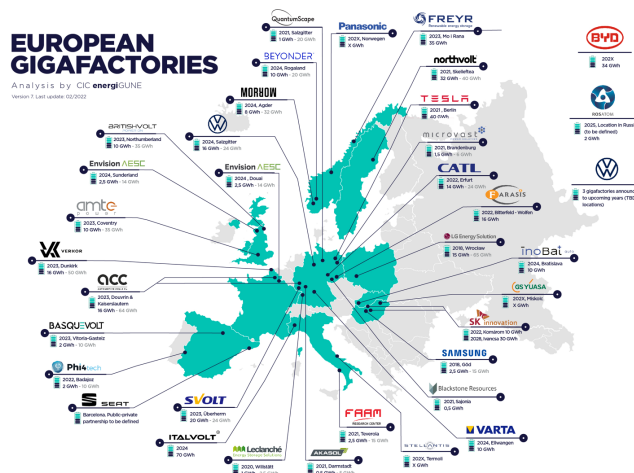


Figura 1. Proyectos de giga factorías en Europa en lo que resta de década [19]

1.3 Motivación

- Falta en el Estado del Arte de un análisis que permita valorar como será el mercado europeo de baterías eléctricas en la próxima década. Atajar la incertidumbre existente en el mercado y ser capaz de entender los diferentes escenarios que se podrían dar.
- Ayudar a la empresa con la cual se elabora el TFM (Solaris Bus & Coach) a incrementar el conocimiento del mercado de baterías, así como poder posicionarse de la mejor manera en este.
- Ser capaz de adelantarse a las posibles tendencias e imprevistos del mercado, así a la posibilidad de mayor demanda que oferta de este.
- Existencia de análisis cualitativos u opiniones acerca del mercado, pero falta de estudios que también abarquen la parte cuantitativa.
- Falta de una base de datos sobre el mercado de giga factorías y unificación de los datos.

1.4 Objetivos del proyecto

1. Analizar cualitativa y cuantitativamente el cambio climático que está sufriendo el planeta, así como la necesidad de una transición hacia una actividad económica más respetuosa.
2. Entender el impacto que tiene el sector automovilístico en este cambio, así como la historia, tendencias, y nuevos requisitos de este.

3. Entender el mercado de las baterías eléctricas para vehículos eléctricos a lo largo de toda la cadena de suministro. Reconocer los principales actores, las tendencias, las diferentes alternativas, las influencias geopolíticas, y la propia tecnología de estas.
4. Obtener un intervalo de cuotas de mercado entre las cuales cada tipo de tecnología del cátodo (NMC, LFP, u “otras”) podrían oscilar en lo que resta de década. Entender tanto el mercado de fabricación, así como el de autobuses eléctricos.
5. Realizar un estudio financiero, obteniendo los parámetros financieros (VAN, TIR, y Periodo de Retorno) de una giga fábrica en cuestión.
6. Aportar al Estado del Arte una recopilación y unificación de los datos de los proyectos de giga fábricas existentes en Europa, incluyendo tanto la información de las empresas como la actividad de cada una de las Giga fábricas.
7. Programar y probar una herramienta y donde poder almacenar estos datos, incluyendo todo tipo de información sobre las Giga fábricas, con la posibilidad de una futura expansión.

1.5 Metodología del proyecto

1. Estudio en profundidad del estado del arte sobre el panorama del mercado de vehículos europeo
2. Estudio de la industria de la batería eléctrica, en especial la destinada al sector automovilístico.
3. Entendimiento de los diferentes actores protagonistas en esta industria, y determinación de las tendencias del mercado.
4. Explicación exhaustiva de las diferencias entre las tecnologías existentes, atendiendo a diferentes características, como pueden ser la composición química del cátodo, del ánodo, del electrolito, o la arquitectura de la batería, entre otras.
5. Análisis y estudio del mercado europeo de autobuses eléctricos urbanos. Entendimiento de los diferentes actores, mecanismos del mercado, requerimientos, tendencias, y diferencias frente al mercado de vehículos de pasajeros, de manera cuantitativa para los casos posibles.
6. Explicación macroeconómica del mercado de las baterías eléctricas, e introducción a las inminentes actuaciones europeas.
7. Se analizará el mercado de autobuses eléctricos urbanos (tanto buses como “coachs”), para fundamentar las hipótesis empleadas en el estudio siguiente.

8. Estudio y análisis del TFM en cuestión. Se recolectará toda la información posible acerca de las gigafactorías que se abrirán en el continente, excluyendo Gran Bretaña. Se hará énfasis en la química del cátodo a desarrollar en cada una de ellas, la capacidad que tendrán, y los años de operación y crecimiento.
9. Desarrollo de herramientas visuales que permitan analizar la información recopilada.
10. Para los casos “sin información”, ya sea de la química o químicas a desarrollar o de la capacidad de la planta, se elaborará un análisis de escenarios, cada cual favoreciendo a una u otra tecnología.
11. Se realizará un análisis de sensibilidad para saber qué impacto tiene cada tecnología y cada planta sobre la cuota de mercado total de cada una de ellas, y el valor total de este.
12. Finalmente, se estimará una cuota de mercado final para cada tecnología en el mercado de autobuses eléctricos urbanos.
13. Creación de la base de datos, relleno y elaboración de consultas
14. Elaboración de conclusiones basadas en los resultados obtenidos (análisis de escenarios, extrapolación de tendencias en el futuro, análisis de sensibilidades, y resultados de la base de datos).

El trabajo se llevará a cabo atendiendo al siguiente cronograma:

Etapa	Marzo	Abril	Mayo	Junio
1, 2, 3, 4, 5, 6				
7,8,9,10				
11,12				
13,14				
Redacción del trabajo				
Investigación y revisión bibliográfica				

Tabla 1. Cronología del trabajo (Autoría Propia)

1.6 Recursos empleados

En primer lugar, cabe destacar que esta parte del proyecto se llevará a cabo en relación con un análisis de mercado realizado como parte de la experiencia de prácticas realizada en la empresa Solaris Bus & Coach, Poznan, Polonia.

La revisión bibliográfica será realizada a lo largo de todo el trabajo, por lo que toda la documentación encontrada en internet o en bibliotecas acerca de la temática en cuestión será de utilidad. Para ello, se podrán emplear repositorios como los dados por la propia Universidad Pontificia de Comillas, o de algunas páginas como ResearchGate, Dialnet o sciELO. Además, para el desarrollo de los diferentes análisis, se empleará la herramienta Excel en su última versión, así como Matlab o Power BI para el desarrollo de ciertos gráficos o estadísticas. La licencia para todas estas herramientas viene dada por la Universidad Pontificia de Comillas.

Así mismo, para la redacción y presentación del proyecto, se empleará el paquete de Microsoft Office.

Por último, para la creación, relleno y consulta de la base de datos se ha empleado MySQL, aportado por los ordenadores de la universidad. También se ha empleado Draw.io para dibujar el esquema lógico de la base de datos con las pertinentes claves primarias y foráneas.

2 SITUACIÓN MEDIOAMBIENTAL ACTUAL

En el presente apartado se procede a analizar las principales consecuencias de manera cuantitativa y cualitativa dadas por el cambio climático. Algunas de ellas se mostrarán a continuación con el fin de entender los principales impactos de los que tanto se habla hoy en día referentes al daño hecho al planeta. Se explicarán brevemente las causas de esta situación crítica, así como las directrices y cambios que se están tomando para paliarla.

Evolución de las emisiones de CO₂ en el mundo

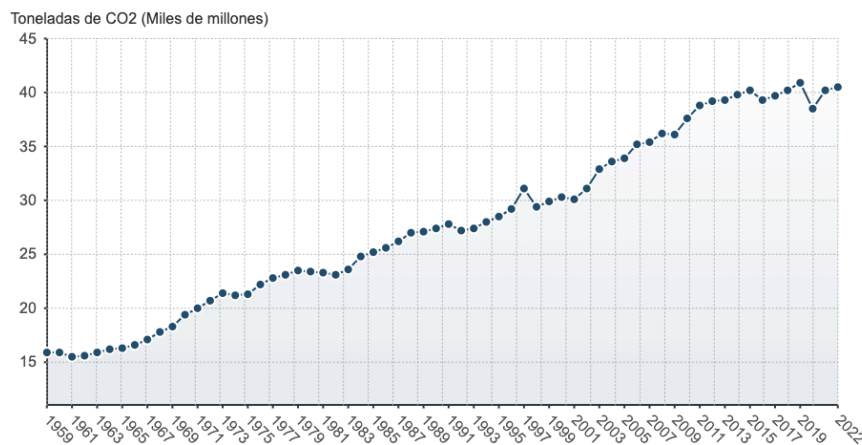


Figura 2. Evolución de las emisiones del CO₂ en el mundo [20]

Como se puede apreciar en la figura 2, las emisiones de CO₂ a la atmósfera no han dejado de crecer en los últimos 60 años, a excepción del 2022, debido a la crisis del Covid-19, y los últimos 2 años, donde las políticas ambientales están empezando a tener efecto positivo. En concreto, en cuestión de 50 años, las emisiones se han multiplicado aproximadamente por dos, pasando de 20,000 millones de toneladas en 1970 a 40 en 2020, teniendo el gas más contribuyente al calentamiento global que sufre el planeta.

Cabe destacar que los gases de efecto invernadero actúan en la atmósfera reteniendo parte del calor del sol reflejado por la superficie terrestre. Su existencia, de hecho, es vital para la habitabilidad de la Tierra pues, sin ellos, la temperatura sería de -18 °C. El problema viene cuando hay un exceso de estos gases, como sucede en la actualidad. Se define como cambio climático como el “cambio del clima del planeta debido a la actividad de los seres humanos”, y se calcula que el incremento de la temperatura media terrestre de los últimos 150 años es de 0,76 °C [3]. Algunos de los principales gases, a mayores de conocido CO₂, que contribuyen a esta situación, se muestran a continuación.

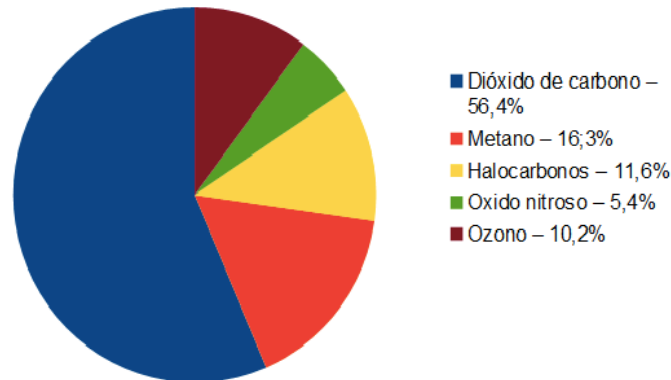


Figura 3. Gases de efecto invernadero [21]

Como se puede observar, el CO₂ es el principal contribuyente, representando un 56,4% mientras que hay otros, también producidos por la actividad humana, que también tienen un importante impacto. Muchos de estos gases se producen como producto de la combustión de diversos combustibles fósiles. Varias industrias o sectores de la economía, como el energético, de transportes, o residencial, han utilizado y utilizan combustibles fósiles para impulsar su actividad. De hecho, prácticamente en cualquier actividad económica se emplean estos recursos energéticos. En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero según el sector.

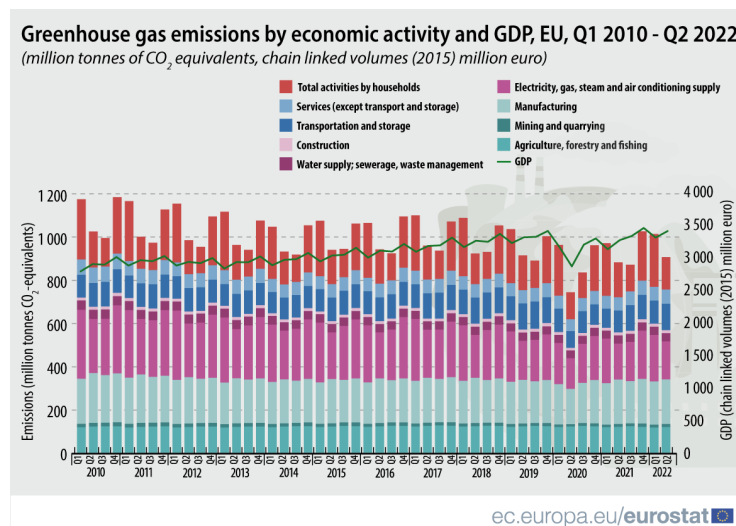


Figura 4. Emisiones de gases de efecto invernadero entre 2010 y 2022 por sector [22]

En ella, se puede ver que el sector transporte supone alrededor de un 15% de las emisiones totales de efecto invernadero, solo provenientes de la propia combustión del combustible

fósil. Si se tuviera en cuenta el ciclo de vida completo de estos medios de transporte, las emisiones a considerar serían mayores. En todo caso, queda demostrado que se trata de uno de los sectores con un mayor impacto el medio ambiente en la actualidad. Por lo tanto, están apareciendo en los últimos años alternativas de propulsión eléctricas que permitan reducir o eliminar la dependencia de los combustibles fósiles, como pueden ser la gasolina, el diésel, o el gas natural. En la próxima gráfica se muestra, además, como se reparte el total de emisiones por tipo de medio de transporte.

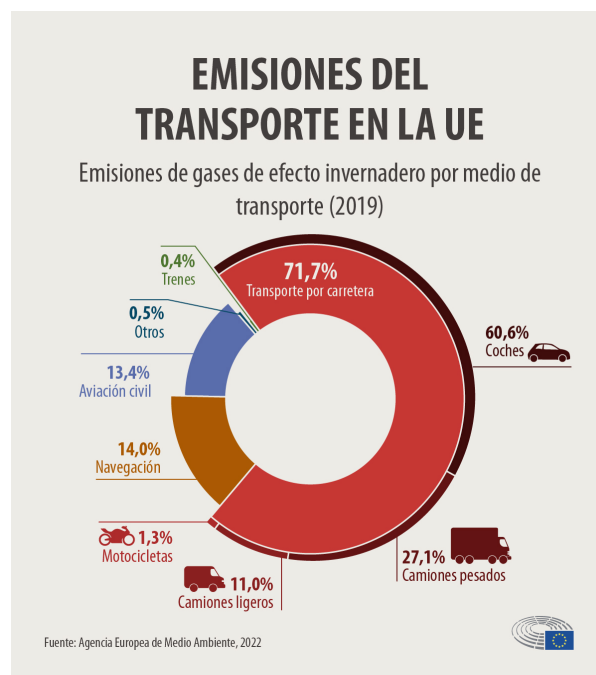


Figura 5. Emisiones del sector transporte según medio de transporte en el 2019 [23]

Como se puede observar en la gráfica anterior, las emisiones de los coches representan un 60,6% de las emisiones totales de este sector. Por ello, sin descuidar la reducción de emisiones a lo largo de todo el sector, es especialmente importante centrarse en los vehículos privados de ruedas para atajar el problema medioambiental. Por ello, se lleva varios años apostando por la electrificación de estos medios de transporte, y parece que en lo que resta de década se verán cambios mucho más notables que lo que se ha visto hasta ahora. Se encuentra la industria en un momento en el que ya se ha realizado una importante investigación y desarrollo en el ámbito de las tecnologías que permitan cambiar de un modo de propulsión basado en la combustión interna a uno eléctrico, y se empiezan a desarrollar todos los componentes a una mayor escala, incluidos los propios vehículos. Los precios de vehículos eléctricos, aunque todavía superiores a sus equivalentes de combustión interna, no cesan en su camino a la paridad de precios, así

como al aumento de la autonomía, y otras características que lo posicionan más favorable al de combustión, como es el impacto ambiental, por supuesto.

Es por ello por lo que se está llevando a cabo un gran progreso en la industria de los componentes de que forman parte del vehículo eléctrico, así como en las industrias encargadas del reciclaje de estos, las de la infraestructura de recarga, y, en definitiva, toda aquella que esté relacionada con estos nuevos vehículos. En concreto, se encuentran los fabricantes de baterías eléctricas, que continúan desarrollando nuevas composiciones y fórmulas para bajar los precios y ofrecer una mejor eficiencia, a la par que el mercado demanda diferentes tecnologías según el tipo de coche al que se destine. Las baterías eléctricas y en concreto las de litio, que son las más usadas en la automoción, destacan por requerir un elevado número de materiales, cuya extracción en muchas ocasiones no se hace de una forma poco sostenible y, en ocasiones, en condiciones de explotación. Además, se encuentra el problema de su reciclaje y de su fabricación. En cuanto a su reciclaje, todavía no hay una solución principal, sino que la búsqueda de distintas alternativas es todavía un proceso actual, mientras que en cuanto a la fabricación, la reducción de la ingesta de energía requerida es también un punto a tener en cuenta y sobre el que se está trabajando. Por todo ello, existen en la actualidad diferentes tipos de tecnologías de baterías, más adecuadas para una finalidad u otra. La perfecta distribución del tipo de baterías en el mercado es un análisis que debe realizar esta industria para reducir en la medida de lo posible los impactos previamente mencionados.

3 SECTOR AUTOMOVILÍSTICO

En esta sección se explicará brevemente la historia del sector automovilístico, así como la situación actual y previsiones futuras, con el fin de tener un mayor entendimiento del sector al que irían destinadas las baterías analizadas posteriormente. Así mismo, sabida la situación ambiental presente en el planeta actualmente, en esta sección se entenderá como la industria automovilística llegó a este punto.

3.1 Historia

Bien es sabido que el automóvil representa hoy en día una de las principales invenciones del ser humano, y uno de los principales motores de la economía actual. Sin los vehículos, ya sean ligeros o pesados, muchas de las actividades económicas o recreativas actuales, serían imposibles. Sin embargo, el coche que se conoce hoy en día ha tenido numerosas evoluciones a lo largo de su historia.

En primer lugar, cabe destacar la indispensabilidad de la revolución industrial para el desarrollo de los primeros prototipos de automóvil. En ella, se inventó la máquina de vapor, gracias a la cual se propulsaron trenes, barcos, y los primeros automóviles. Posteriormente, llegaría la electricidad. A pesar de que se conocía este vector desde tiempos anteriores, no fue hasta finales del siglo XIX cuando se le dio más utilidad. El problema con la electricidad en los vehículos era la rápida descarga de las baterías, así como la lenta carga de estas. Finalmente, por lo tanto, se recurrió a los combustibles fósiles para propulsar el vehículo, apareciendo los primeros prototipos a principios del siglo XX, y en la segunda mitad del siglo apareciendo los primeros vehículos comerciales. Sería con la llegada del siglo XX cuando la industria automotriz empezaría a fabricar a gran escala, con algunos ejemplos como el modelo T de Ford, con sus renombradas “cadenas de montaje”, o los vehículos de Mercedes Benz, Cadillac, o Renault entre otros. Desde esa época, la industria automotriz, liderada por los EE. UU., no haría más que aumentar su producción y variedad de vehículos de manera exponencial hasta la actualidad, mostrando un acusado incremento en la producción entre los años 1960 y 1980 debido a la producción en masa y a las economías de escala. En la siguiente figura se puede ver la evolución de la producción mundial de vehículos por país en el último siglo y parte del presente.

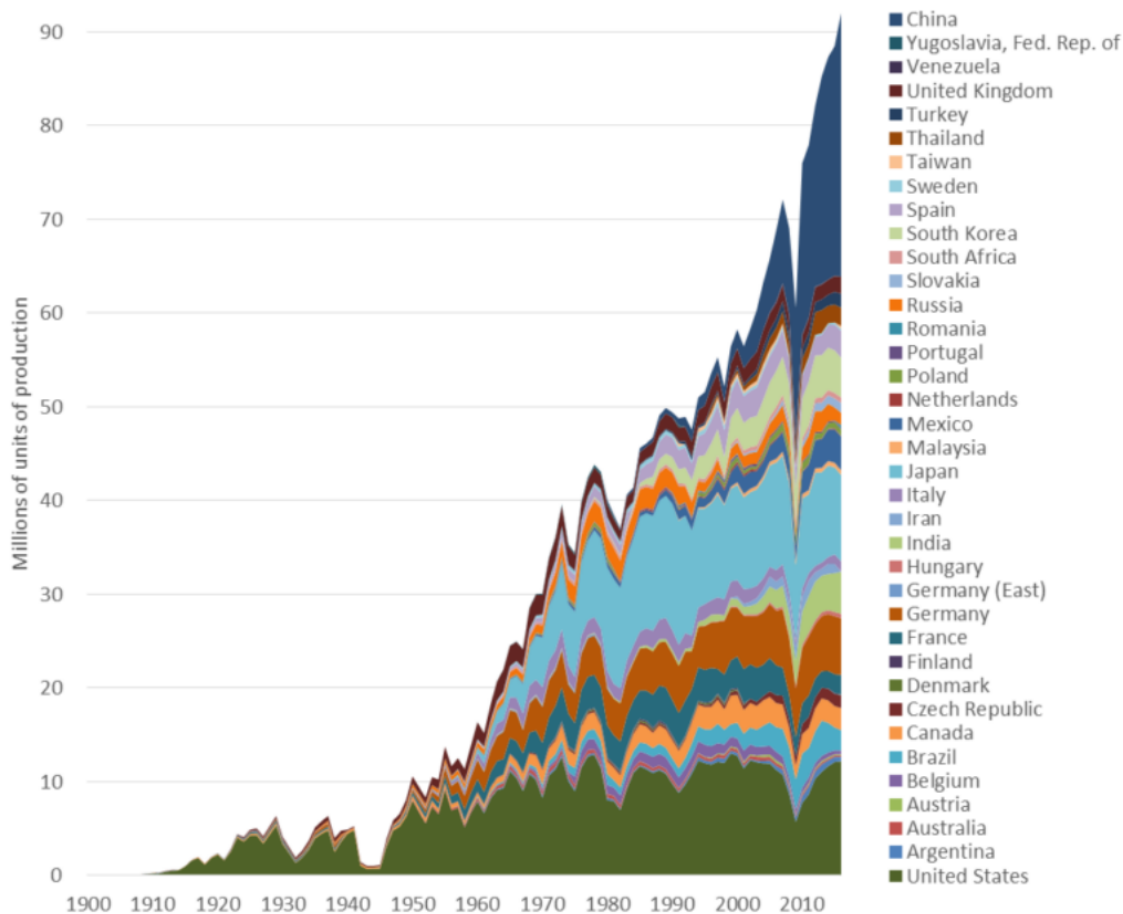


Figura 6. Producción mundial de vehículos desde 1900 hasta 2016 por país [24]

3.2 *Presente y futuro*

La previamente explicada industria automovilística, por lo tanto, ha propiciado, entre otros sectores industriales, que el aumento de la temperatura global sea crítico hoy en día. A través de métodos de fabricación contaminantes, y de la propulsión de los propios vehículos mediante la combustión de combustibles fósiles, se ha generado una evolución de las emisiones totales como se muestra en la siguiente figura.

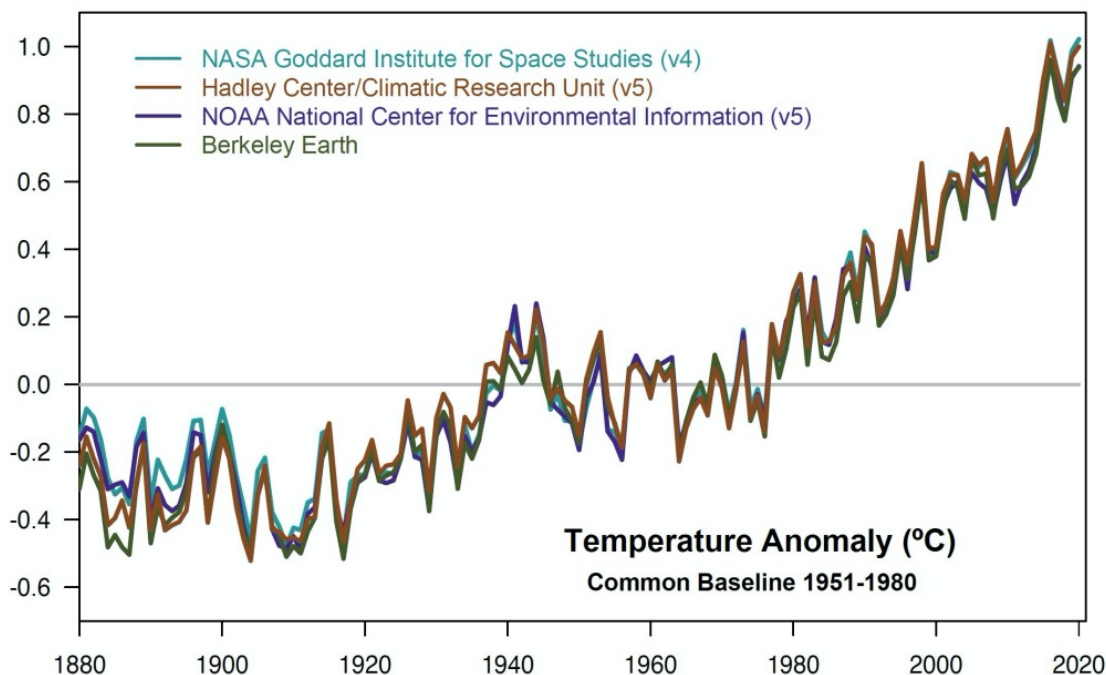


Figura 7. Evolución de la temperatura global de la tierra desde 1890 hasta 2020 [24]

Esta situación ha propiciado que la industria se deba plantear nuevos métodos de propulsión de los vehículos. No es el CO₂ que estos emiten el único producto de la combustión dañino para la tierra o la salud de sus habitantes, sino que el resto de gases o partículas provenientes del tubo de escape también son perjudiciales, pudiendo provocar enfermedades como asma o cáncer de pulmón, especialmente en las ciudades, donde habita el 80% de la población. Algunos de estos gases son el NO_x, el CO, el SO₂, entre otros. Aunque es verdad que la presencia de nuevos catalizadores y los avances realizados en la tecnología que engloba al motor de combustión han propiciado una reducción considerable de la emisión de estos productos, no es suficiente como para alcanzar las metas medioambientales estipuladas.

La siguiente gráfica muestra la evolución prevista de ventas de vehículos según el tipo de propulsión en lo que resta de década a nivel mundial. En ella, se puede observar cómo la cuota de mercado de los vehículos eléctricos crece significativamente, alcanzando un 30% del parque automovilístico global en 2030. Este suceso genera una necesidad de baterías eléctricas urgente, a la vez que un requerimiento de costes, economías de escala, seguridad y versatilidad importante. En la siguiente sección se explicarán las diferencias entre los diferentes tipos de baterías.

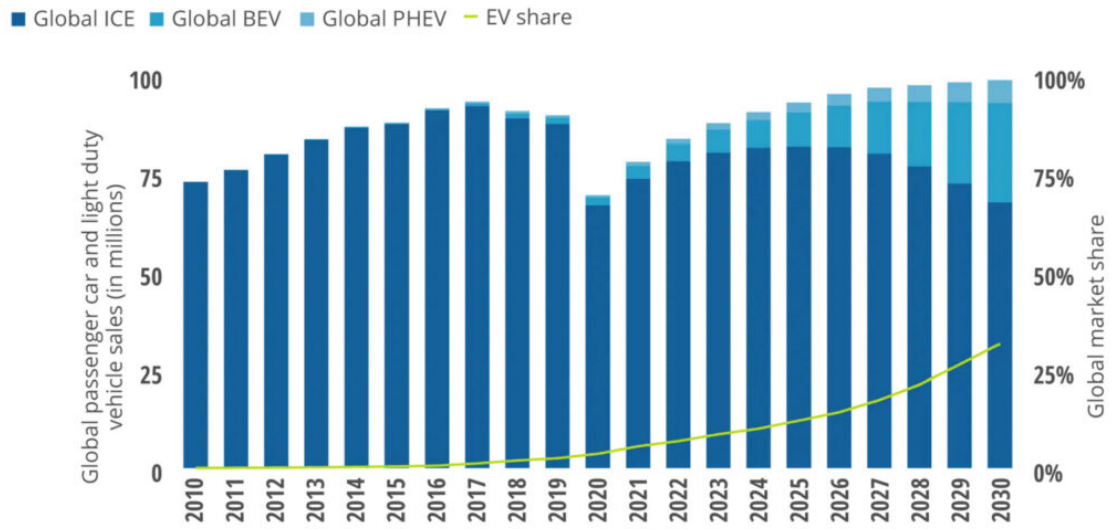


Figura 8. Evolución estimada de las ventas y cuota de mercado de cada tipo de vehículo según su propulsión [25]

4 BATERÍAS ELÉCTRICAS

4.1 Principio de funcionamiento y partes

El principio de funcionamiento de las baterías eléctricas consiste en una oxidación-reducción, comúnmente conocida como redox. A continuación, se explicará el principio de funcionamiento de una batería de iones de litio.

Cuando la batería se descarga, los átomos de litio presentes en el ánodo se ionizan, de tal manera que se generan los electrones y iones (átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o deficiencia de electrones en comparación con a un átomo o molécula neutra). Posteriormente, los iones de litio generados se desplazan a través del electrolito hasta llegar al cátodo, donde se vuelven a juntar con los electrones que han llegado a través del circuito eléctrico, neutralizándose de nuevo. El proceso de carga de la batería es análogo, pero de manera opuesta. Los iones fluyen del cátodo al ánodo por el electrolito mientras que los electrones fluyen por el circuito. Los polos alcanzan su límite cuando el cátodo no puede aceptar más electrones o el ánodo se ha oxidado por completo. Este flujo de electrones es lo que comúnmente se conoce como electricidad, y lo que permite impulsar un motor eléctrico, iluminar una bombilla, etc. [26].

A continuación, se explicarán las partes de la batería eléctrica.

- Electrodo: componentes encargados de almacenar la energía. Uno positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo).
- Electrolito: sustancia conductora de los iones entre los dos electrodos
- Separadores: ubicados entre los electrodos para evitar el contacto entre ellos
- Caja: cubierta que protege los elementos mencionados.

En la siguiente imagen se puede apreciar el principio de funcionamiento previamente explicado.

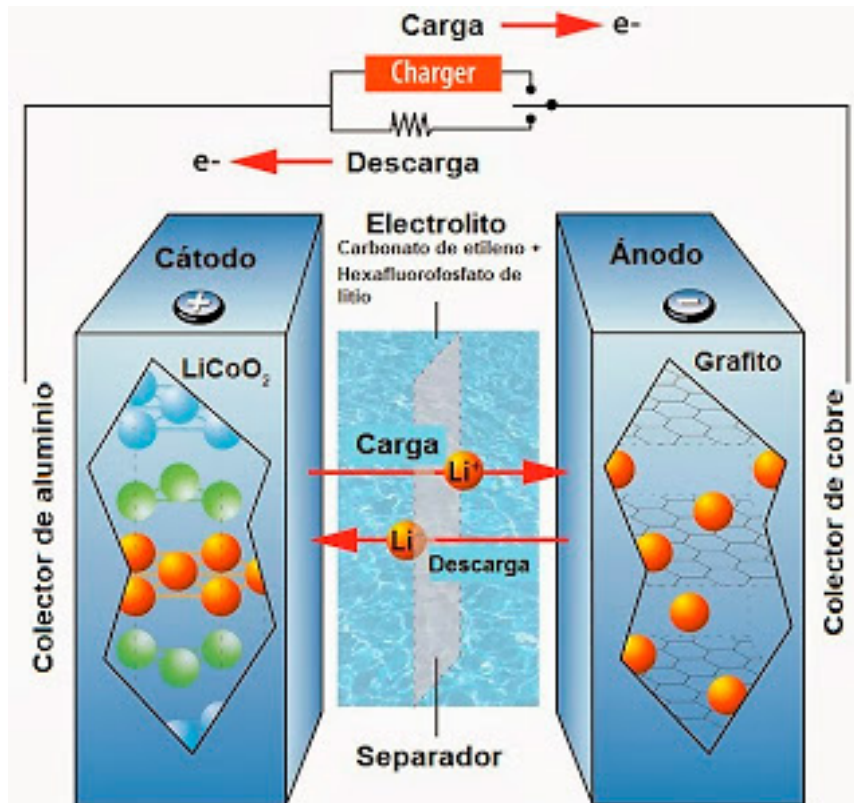


Figura 9. Funcionamiento de una batería de iones de litio [27]

4.2 Tipos de baterías de iones de litio

En el presente apartado se explicarán las principales baterías de iones de litio existentes en el mercado, atendiendo a la composición de su cátodo, así como al tipo de configuración.

4.2.1 Según la composición del cátodo

Existen diversas posibilidades a la hora de escoger el tipo de cátodo que se empleará en la batería de iones de litio. A continuación, se mostrarán las principales, con los componentes que las forman, así como una comparativa entre sus características de una manera gráfica.

Tipo de cátodo	Composición
LiCoO_2	Oxido de Litio Cobalto
LMO	Oxido de Litio Manganeso

LFP	Litio Hierro Fosfato
NMC	Litio Nickel Manganeso Cobalto
NCA	Litio Nickel Cobalto Aluminio
LTO	Litio Titano Oxido

Tabla 2. Tipos de baterías de iones de Litio según su composición del cátodo (Autoría Propia)

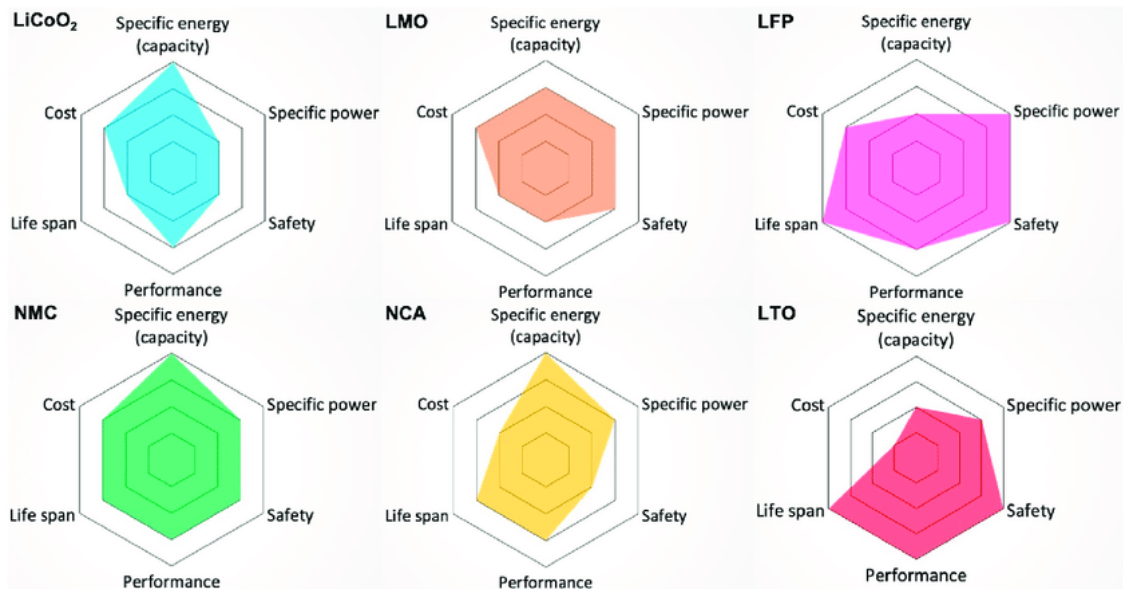


Figura 10. Tipos de baterías de iones de Litio y características [28]

Como se puede observar en la gráfica anterior, las baterías NMC y LFP son las más completas en cuanto a sus características se refiere. Por ello, son los tipos de baterías con una mayor cuota de mercado en la actualidad. Cabe destacar que, a excepción de la energía específica, las baterías de tipo LFP ofrecen unas mejores características, destacando por su seguridad, coste, vida útil, y potencia específica. Sin embargo, el requerimiento de espacio de los vehículos es mayor para este tipo de baterías, por lo que, para vehículos de mayores requerimientos, gamas más altas, o de competición, se emplea NMC. De hecho, actualmente las baterías NMC son las que cuentan con una mayor cuota de mercado, por su cumplimiento con todas las características, siendo en los últimos años cuando se están empezando a presentar alternativas de LFP, especialmente para vehículos de gamas más bajas.

Por otro lado, las baterías de tipo NCA, que son las empleadas actualmente por Tesla en algunos de sus vehículos [29], a pesar de su alto rendimiento en cuanto a energía específica se refiere, siguen presentando algunos inconvenientes en cuanto a costes y

seguridad (asociada sobre todo a la inflamabilidad). Por último, el resto de las alternativas, aunque presentan en algunas aplicaciones puntuales, siguen reduciendo su cuota de mercado a medida que avanzan los progresos sobre las baterías NMC, LFP, diferentes versiones de estas, y nuevas tecnologías en cuanto al ánodo y electrolito se refiere. Así mismo, las implicaciones geopolíticas y en cuanto a la cadena de suministro que tiene cada tipo de batería se explicarán en las siguientes secciones.

	Acronym	Material	Energy Density (typ.)	Max. Voltage (typ.)	Key Feature
Lithium Cobalt Oxide	LCO	LiCoO ₂	180 Wh/kg	4.35 V	High capacity for mobile
Lithium Iron Phosphate	LFP	LiFePO ₄	110 Wh/kg	3.6 V	Safety & cost
Lithium Nickel Cobalt Manganese	NMC	LiNiMnCoO ₂	up to 200 Wh/kg	4.2 V	Safety
Lithium Manganese	LMO	LiMn ₂ O ₄	120 Wh/kg	4.2 V	Safety

Figura 11. Comparativa numérica entre las diferentes tecnologías [30]

4.2.2 Cadena de valor y principales actores en el mercado

Es importante entender la cadena de valor de las baterías eléctricas para poder analizar los conflictos e intereses geopolíticos que se pueden realizar. Como se puede ver en la siguiente figura, todo empieza por la minería de los materiales, para su posterior refinado. Tras ello, se lleva a cabo la producción de los cátodos, para después pasar a fabricar las celdas, los módulos, y ensamblarlos en el vehículo de la mano de un OEM. El proceso completo se puede ver en la siguiente figura.

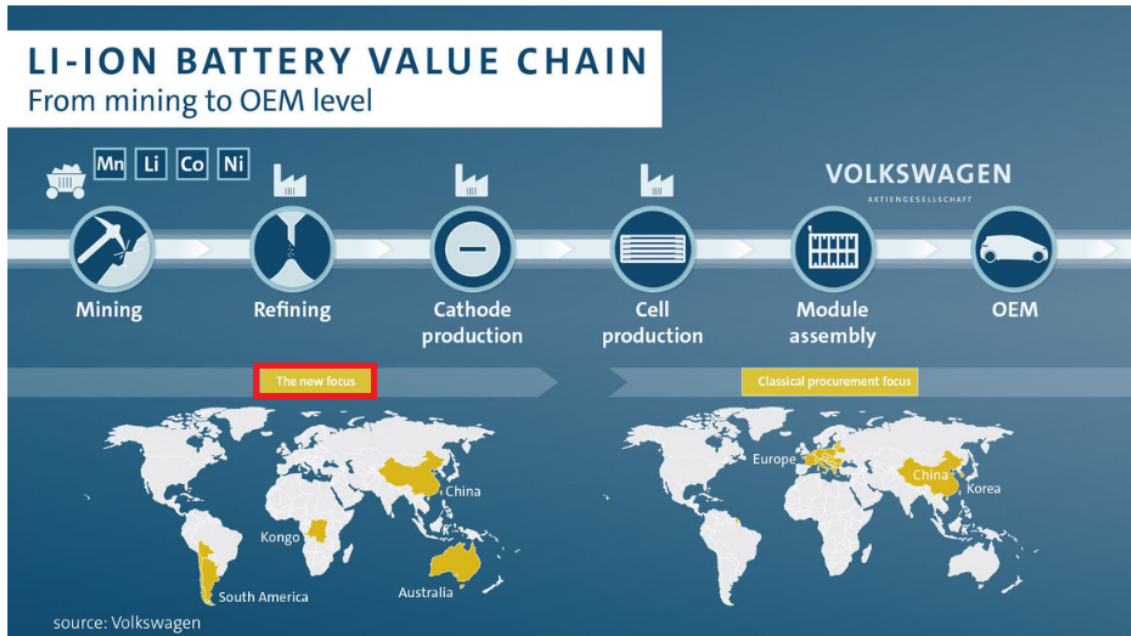


Figura 12. Cadena de valor de las baterías de iones de litio [31]

Posteriormente, es importante resaltar el peso que tiene cada país en cada etapa de la cadena de valor. Como se puede ver en la siguiente figura, China, la República del Congo, Australia, Chile y Sudáfrica se presentan como algunos de los principales países en cuanto a la extracción de grafito, cobalto, litio y manganeso se refiere, respectivamente.

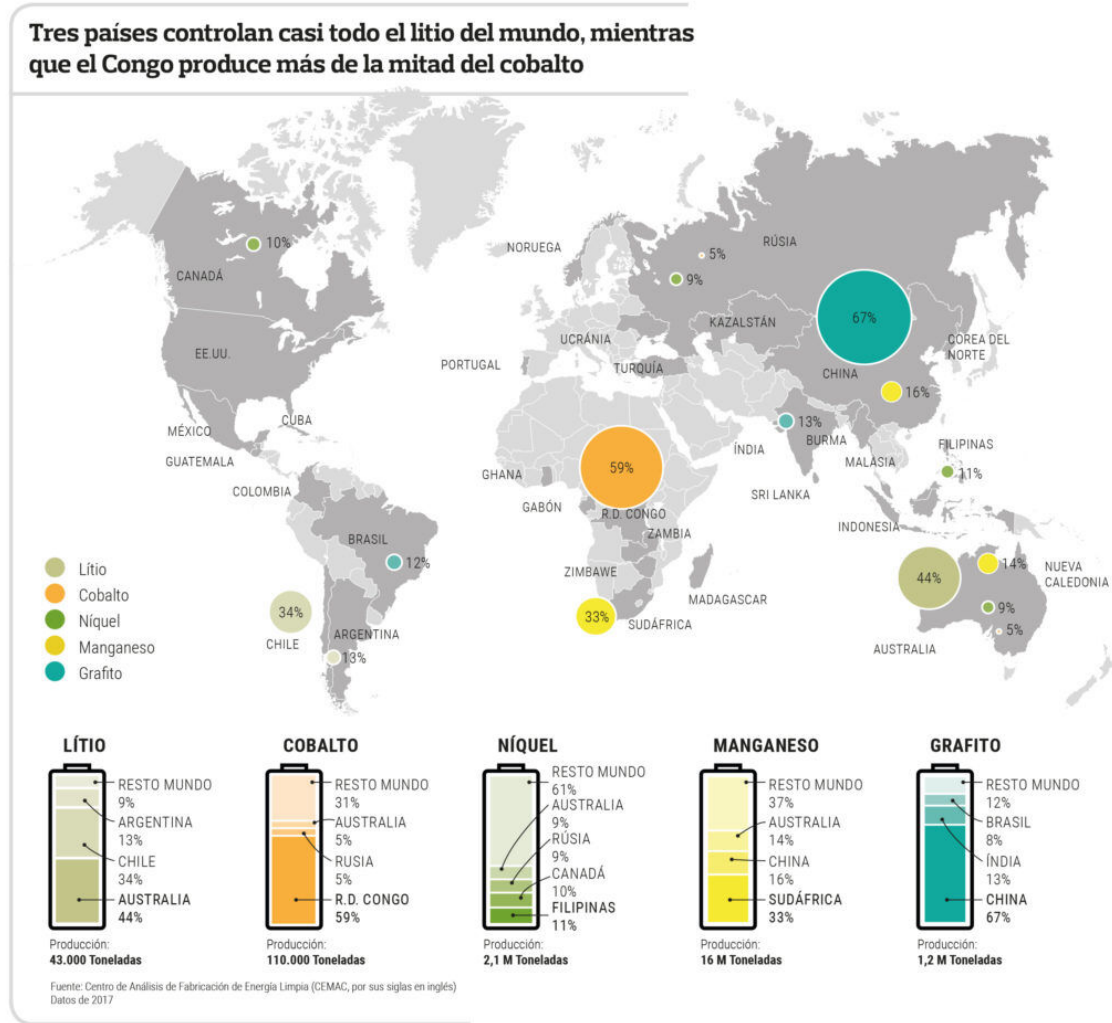


Figura 13. Panorama mundial de la minería de los materiales para las baterías de iones de Litio [32]

Sin embargo, hoy en día China se presenta como el principal fabricante de baterías de litio en el mundo. A pesar de que su presencia en la extracción de materiales no sea tan significativa, en las siguientes etapas de la cadena de valor, prácticamente tiene un dominio total con un 80% del refinado mundial de los materiales, un 85% de la fabricación de ánodos y cátodos, y un 70% de la fabricación de las celdas en el 2022.

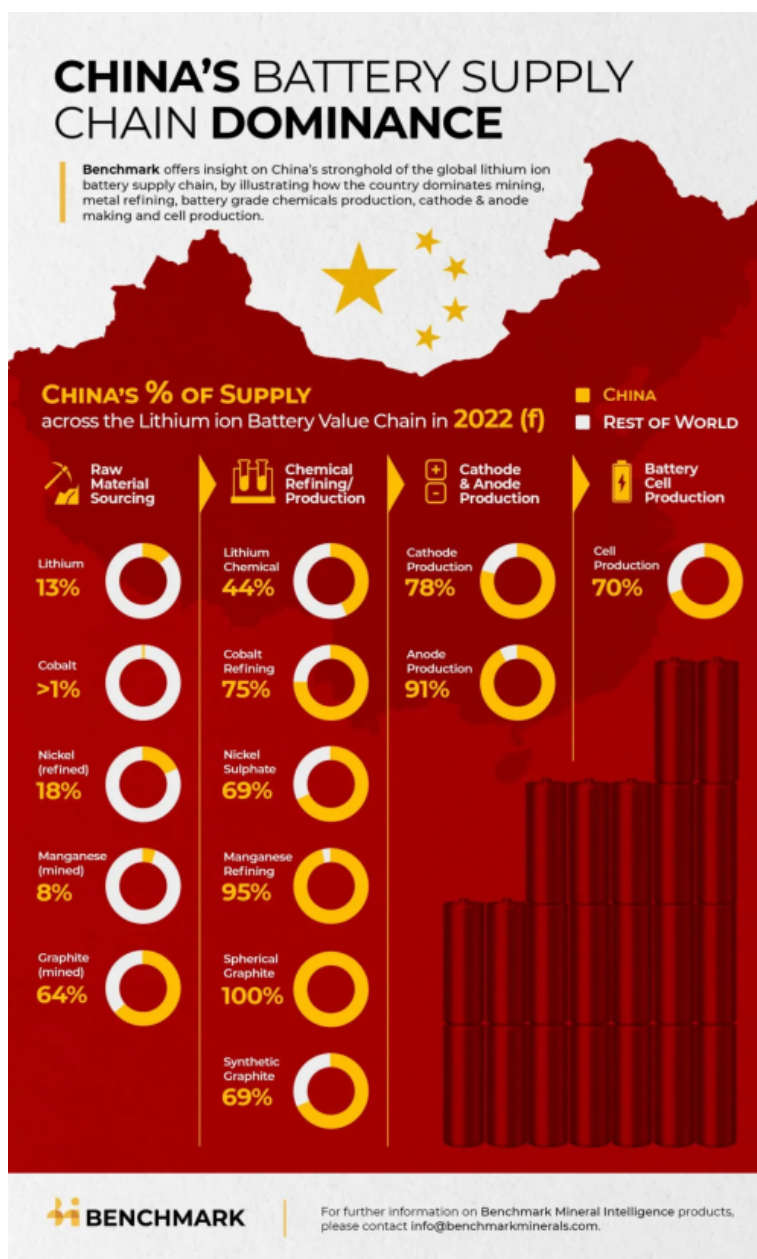


Figura 14. Dominio de China en la cadena de valor de las baterías de iones de litio [33]

Esto genera una situación de dependencia de China que los principales gobiernos de las naciones pretenden evitar. Además, China se posiciona como el segundo país con más reservas de fosfato del mundo (con un 5% aproximadamente), pero con la mayor tasa de utilización actualmente, y con la mayor infraestructura destinada a ello, siendo el mayor productor actualmente, encargado de un 35% de la producción mundial anual [34]. Por lo tanto, el futuro de la producción de las baterías eléctricas está en el aire, y son varias las acciones que están llevando a cabo varias de las potencias mundiales para reducir la dependencia de China, donde se encuentran algunas de las empresas más grandes en la

producción de baterías como CATL (la más grande) o BYD, o del resto de Asia, como Corea (donde se encuentran LG, SK ON y Samsung), o Japón (Panasonic) [35]. El panorama europeo de fabricación de celdas de lo que resta de década, se presentará en el siguiente apartado.

5 PANORAMA EUROPEO DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS

5.1 Introducción al modelo

En el presente apartado se entra en el análisis en cuestión de este trabajo, el estudio del panorama europeo de fabricación de celdas de baterías de iones de litio en lo que resta de década. Para la elaboración del análisis, en primer lugar, se necesita saber qué proyectos de giga factorías existen en Europa, o cuales de ellas ya están en funcionamiento. Se define como giga factoría una fábrica de baterías para coches eléctricos de gran capacidad, normalmente del orden de GWh. A continuación, se muestran las giga factorías que operaran en Europa a lo largo de la década.

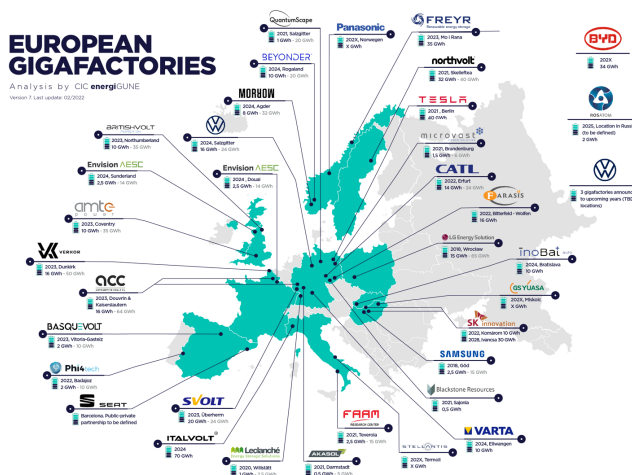


Figura 15. Proyectos de giga factorías en Europa en lo que resta de década

5.2 Hipótesis realizadas

- Las empresas que fabrican actualmente baterías en Europa no cambiarán el tipo de tecnología a que desarrollan hoy en día a no ser que se especifique de otra manera.
- Para las fábricas cuya producción va destinada a varios sectores industriales (no sólo automoción), el porcentaje destinado a este último se ha supuesto en un 33%. Aun así, generalmente son casos puntuales y plantas pequeñas.
- La capacidad inicial de las plantas se ha establecido en un 100% cuando no se especifica de otra manera.

- Para las compañías que desarrollan celdas tipo “estándar” y celdas tipo “nueva generación”, se asumirá un 50-50 en el reparto de estas.
- Si las capacidades iniciales y finales de una planta, así como las respectivas fechas son especificadas pero no su evolución, se asumirá expansión lineal a lo largo de los años.

5.3 Metodología

- a) Elaboración de un listado de los proyectos de giga factorías partiendo de la información de CIC EnergyGune y complementándola.
- b) Búsqueda de la información complementaria. Empleo de páginas web, entrevistas, contacto con las empresas, etcétera.
- c) Elaboración de hipótesis para ciertos parámetros o situaciones.
- d) Elaboración de análisis de escenarios. Se verá posteriormente.

5.4 Resultados

Una vez analizadas para cada giga factoría la tecnología a desarrollar (en cuanto al cátodo se refiere), la capacidad y la inversión de esta. La información recopilada se muestra en la siguiente tabla. Como es de esperar, hay cierto desconocimiento de algunos parámetros. Las filas en azul representan aquellas giga factorías para las cuales no se puede especificar con precisión qué tipo de cátodo usarán en sus baterías.

Country	Company Name	Plant's location	Cathode chemistry	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Spain	Phi4Tech	Badajoz	Battery - Supercapacitor		2	4	6	8	10	10	10
	Envision AESC	Navalmoral de la Mata	UNKNOWN					10	15	20	25
	BasqueVolt	Vitoria	NMC (SS)						10	13	17
	Volkswagen & Seat	Sagunto	LFP					40	40	40	40
France	ACC	Billy-Berclau Douvrin	NMC			8	8	16	16	24	24
	Envision AESC	Douai	NMC				9	9	18	18	27
	Verkor	Dunkirk	NMC				16	20	25	35	43
Italy	ItaVolt	Scarmagno	NMC				45	45	45	45	60
	ACC	Termoli	NMC					40	40	40	40
	FAAM	Teverola	NMC 3b and 4 (SS)	0,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Greece	Sunlight	Greece	LFP	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
Serbia	ElevenES	Serbia	LFP		0,3	8	8	8	8	16	16
Sweden	NorthVolt & Volkswagen	Skelleftea	NMC		16	32	32	32	40	50	55
	NorthVolt & Volvo	Gothenburg	NMC				35	45	50	50	50
Slovaquia	Inobat	Bratislava	NMC				4	8	12	16	24
Hungary	CATL	Debrecen	UNKNOWN						100	100	100
	Samsung SDI	God	NMC		40	40	40	70	70	70	70
	SK Innovation	Ivancsa 1	NMC		7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	SK Innovation	Ivancsa 2	NMC		10	10	10	10	10	10	10
	SK Innovation	Komarom	UNKNOWN							30	30
Poland	LG Energy Solution (LG Chem)	Wroclav	NMC		86	86	115	115	115	115	115
Norway	Morrow	Arendal	NMC, LNMO			1	5	10	15	21	21
	Freyr	Mo I Rana	LFP		0	0	20	20	20	20	20
Germany	Tesla	Berlin	UNKNOWN		50	50	75	100	100	130	170
	Svolt	Lauchhammer (Brandenburg)	UNKNOWN				16	16	16	16	16
	Svolt	Uberherm (Saarland)	UNKNOWN						24	24	24
	ACC	Kaiserlauten	NMC				13,4	13,4	13,4	26,8	26,8
	CATL	Erfurt	UNKNOWN		14	24	24	24	60	60	60
	NorthVolt & Volkswagen	Salzgitter	NMC				20	20	20	40	40
	Akasol	Darmstand	NMC		2,5	2,5	2,5	5	5	5	5

Tabla 3. Recopilación de datos de las diferentes giga fábricas de Europa (Autoría Propia)

5.4.1 Caso base. Incertidumbre

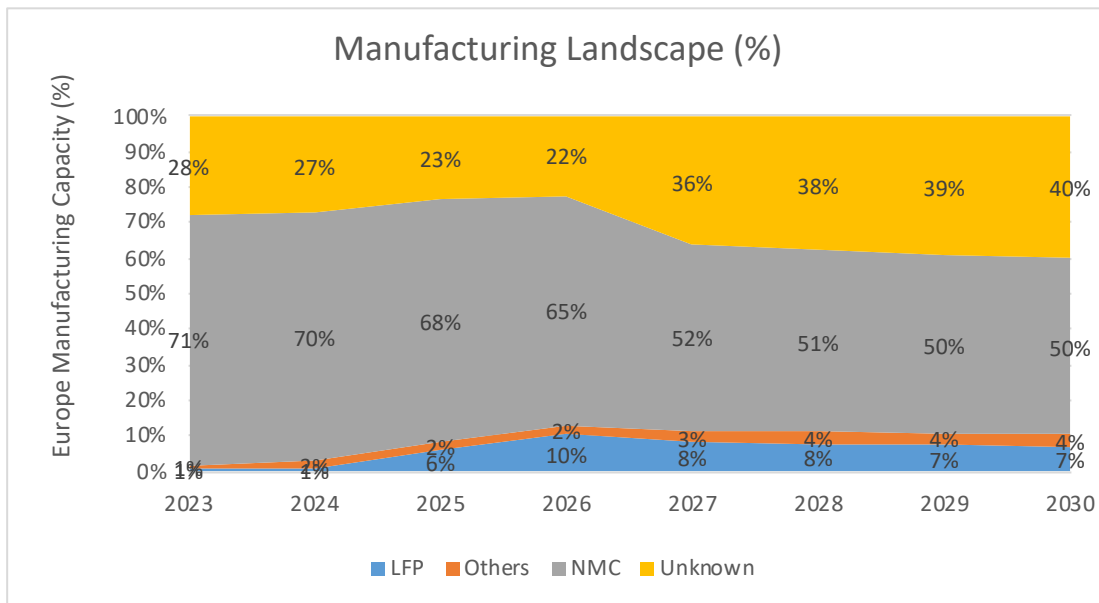


Figura 16. Fabricación de celdas de baterías en Europa según tecnología, caso base

En la gráfica anterior se puede apreciar un gran porcentaje de producción desconocida, con un incremento considerable entre los años 2026 a 2027, con la ampliación de ciertas fábricas o apertura de otras de algunas de las principales compañías, ya sean Tesla, CATL, etc.

Esta situación de incertidumbre genera numerosas dudas y dificultades a la hora de sacar conclusiones al respecto. A pesar de que varios directivos de estas compañías cuya producción se desconoce han declarado su interés en la tecnología LFP (véase, donde Elon Musk explica sus intenciones de incluir LFP en los modelos de gama más baja). Por ello, lo normal sería ver un porcentaje de LFP significativamente mayor al 7% en el 2030, teniendo en cuenta también las hipótesis formuladas acerca de la fabricación a lo largo de la década de NMC de aquellas empresas que lo hacen hoy en día, situación que no tendría por qué darse.

En todo caso, de la gráfica anterior se puede sacar una primera conclusión. Tanto la cuota de mercado de las baterías LFP y de tipo “otros” aumenta con los años, aunque a priori no alcance una cuota de mercado muy significativa, y se estanque entorno a 2027. En realidad, este “estancamiento” está asociado a la gran incertidumbre que hay, pues es difícil predecir que fabricarán ciertas empresas en 5 años si no han dicho nada al respecto. Así mismo, también se puede observar una reducción en la cuota de mercado de las

baterías NMC, especialmente en los años de apertura de fábricas mencionado anteriormente.

Sin embargo, este sería un debate más cualitativo y que podría tener diferentes variantes. Para atajar el problema de la incertidumbre de la situación, se ha decidido elaborar un análisis de escenarios.

5.4.2 Caso favorable al NMC

En este caso, se asumirá que el 80% de la producción total de estas empresas es NMC, y el 20% restante es LFP, obviando al tipo de baterías “otros”, puesto estas, de momento, corresponden a pequeños nichos de mercado o a empresas más especializadas como puede ser BasqueVolt en el País Vasco. No parece que las empresas correspondientes a la producción de “unknown” tengan intención de fabricar otros tipos de baterías en Europa de momento, centrándose en lo que demanda el mercado. Con el panorama descrito, la gráfica resultante sería la siguiente.

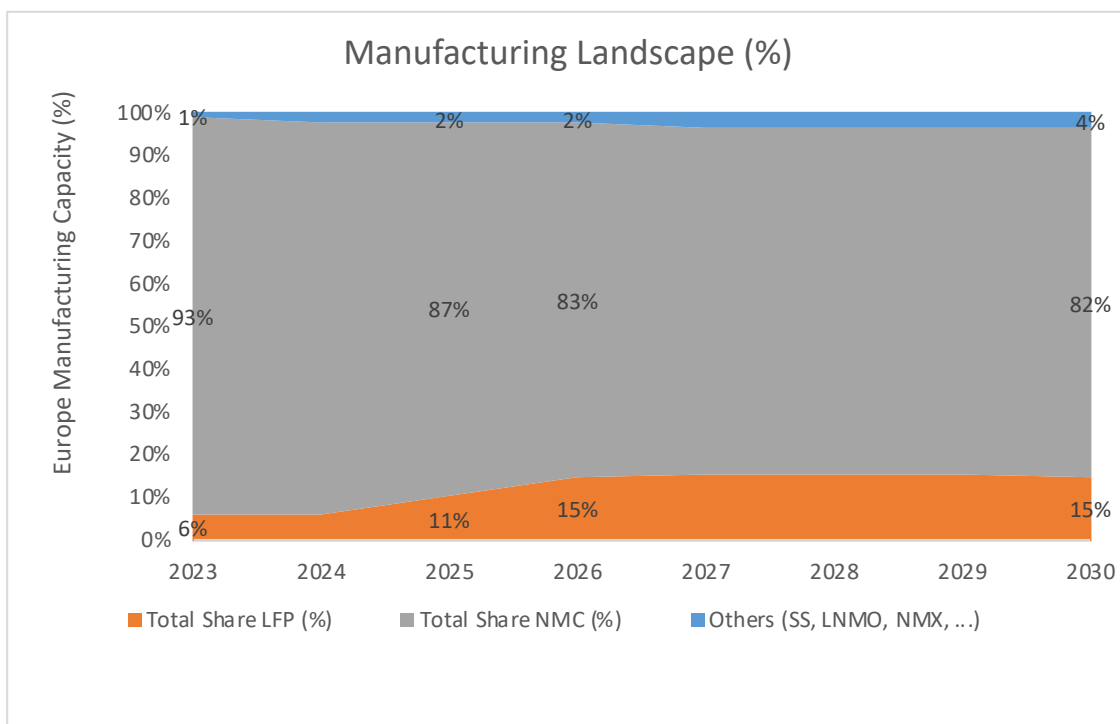


Figura 17. Fabricación de celdas de baterías en Europa según tecnología, caso NMC

En la anterior imagen se puede observar un crecimiento de la cuota de mercado de “otros” y de LFP, siendo más acusado en este último, pasando de un 6% en 2023 a un 15% en

2030. Así mismo, se aprecia una reducción de un 9% en la cuota de mercado de NMC en estos mismos años, aunque sigue liderando el mercado con un 82% en 2030. De la siguiente gráfica, de todas formas, se puede sacar una primera conclusión. Aún en el caso desfavorable para la tecnología LFP, la cuota de mercado de esta sube, a la vez que disminuye la de NMC.

5.4.3 Caso favorable a LFP

En este caso se supondrá que el 50% de la fabricación de las plantas “unknown” será LFP y el 50% restante NMC, obviando la fabricación de otras alternativas, como se explicó anteriormente. Esta situación, de hecho, no es exagerada y es coherente con lo que declaran estas empresas, que pretenden adentrarse fuertemente en el mercado del LFP, como es el caso de Tesla, cuyos Tesla Model Y de rango medio fabricados en Berlín irán equipados con baterías de esta tecnología. De la misma manera, la empresa china CATL, ya está fabricando baterías LFP en su país de origen, a la espera de ver qué hará en Europa. Los resultados para este escenario se indican a continuación.

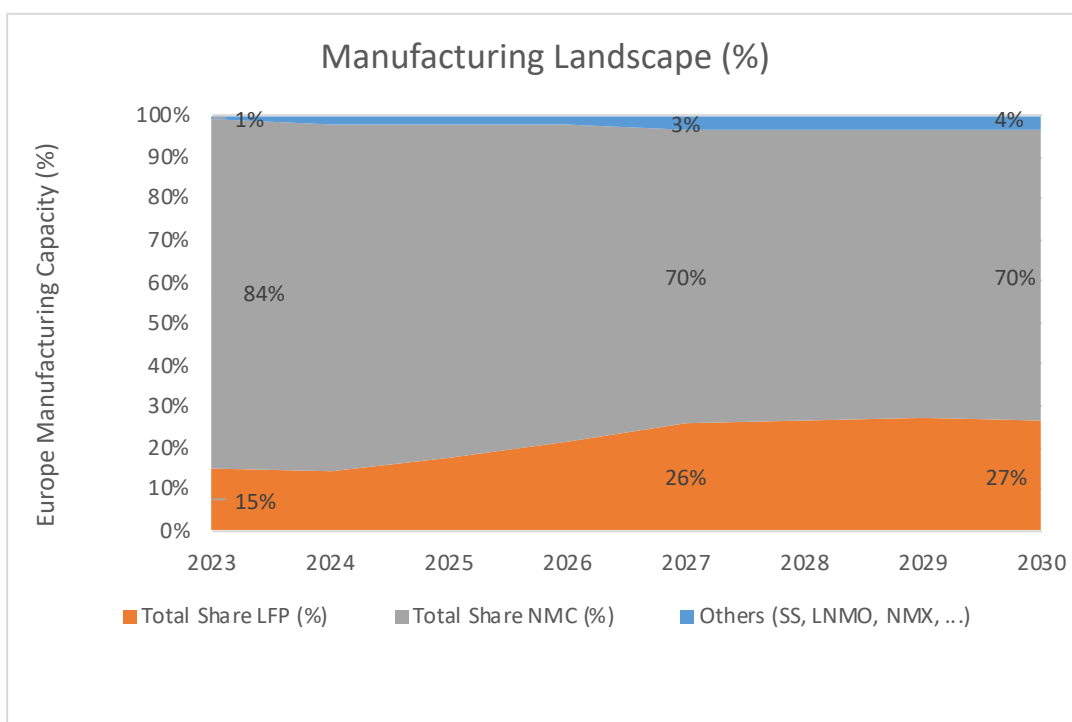


Figura 18. Fabricación de celdas de baterías en Europa según tecnología, caso LFP

En este caso se puede apreciar una mayor cuota de mercado de baterías LFP en el 2030, alcanzando un 27%, ascendiendo desde el 15% de 2023. En el caso del NMC, la reducción

de cuota es más significativa, pasando de un 84% en 2023 a un 70% en 2030.

5.4.4 Análisis de sensibilidad e implicaciones económicas

En el siguiente apartado se calculará la sensibilidad que tiene el cambio de un GWh de NMC a LFP o viceversa a la cuota de mercado en términos porcentuales de cada una de ellas, así como implicación económica sobre el valor total del mercado de baterías de iones de litio dedicado a la automoción que tiene este mismo cambio, teniendo en cuenta que los precios de cada una de ellas son diferentes.

Cálculo de la sensibilidad del valor de mercado ante un cambio de LFP-NMC

Un cambio de 1 GWh de LFP a NMC supondría facturar 65€/kWh en vez de 94€/kWh por esa celda [36]. Teniendo en cuenta que 1 GWh son 10^6 kWh, se obtendría una pérdida de valor de mercado $1,000,000 * (94 - 65) = 29$ M€, que se corresponde con la sensibilidad del valor de este mercado ante un cambio entre las dos tecnologías que lo lideran.

5.4.5 Caso de estudio: planta de Volkswagen en Sagunto

Posteriormente se procede a estudiar la viabilidad económica de una planta en concreto de la lista anterior. El objetivo con el siguiente análisis es de mostrar lo que supone una inversión de esta índole, en cuanto a periodo de retorno se refiere, así como a otros parámetros. Los cálculos financieros se han realizado para todas ellas, pero por simplicidad de cálculo sólo se mostrará la de la planta de Sagunto. Los parámetros necesarios para los cálculos a realiza se muestran en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor
Inflación media anual	3%
Tecnología de la batería	LFP
Precio de venta tecnología LFP	65 €/kWh
Reducción anual precio venta	2%
Margen neto sobre las ventas	8%
Output de la fabrica	40 GWh

Tabla 4. Parámetros que considerar para los cálculos (Autoría Propia)

Los parámetros previamente mencionados se han obtenido de fuentes diversas. En primer lugar, el margen neto sobre las ventas se ha calculado teniendo en cuenta la capacidad total futura de fabricación de la empresa Volkswagen. Sabido este dato, es posible interpolar y estimar el margen que pueden tener. Esto es debido a la economía de escala. Se pudo observar en la siguiente imagen que, a mayor tamaño de la empresa, mayor es el margen neto y viceversa, siendo las empresas con un mayor margen Tesla, CATL, o LG Energy Solutions. Se estimó un margen neto de 6% para la empresa Volkswagen ofreciendo una interpolación entre 1% (Gotion) y 13% (CATL), teniendo en cuenta las capacidades de producción de cada una de ellas y la capacidad de Volkswagen entre sus 3 plantas europeas.

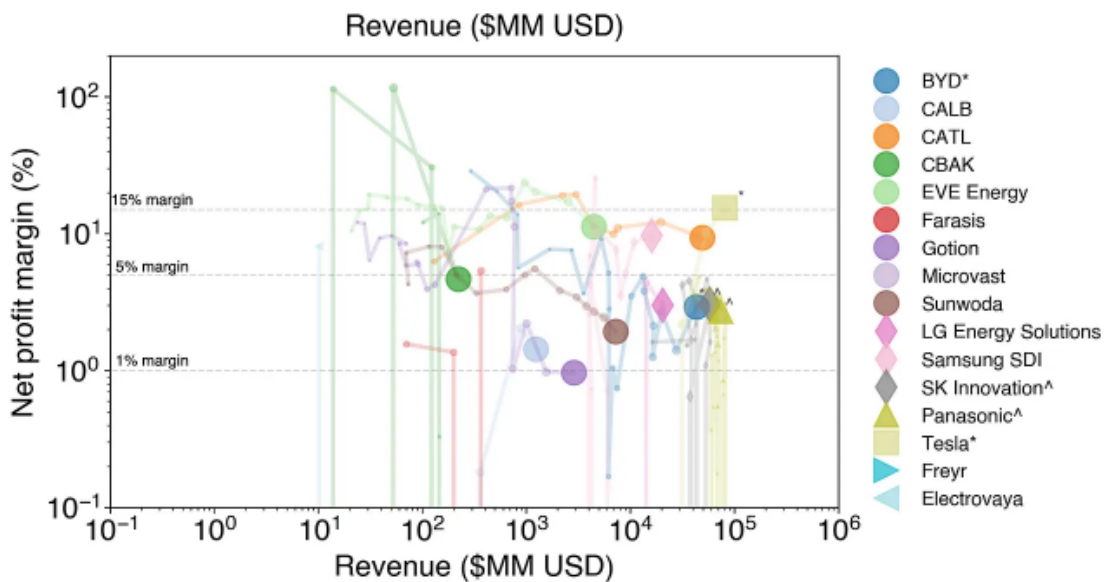
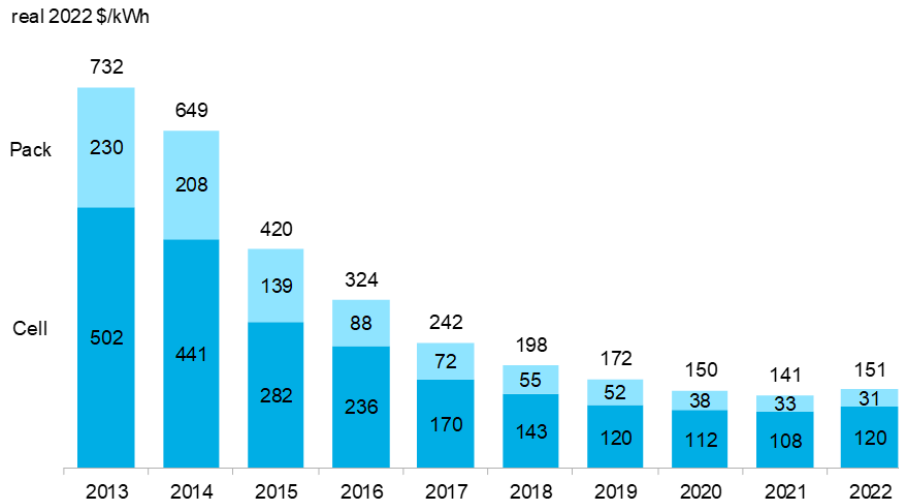


Figura 19. Margen neto de las principales empresas de baterías [37]

En cuanto al precio de la batería y la reducción de este con los años, se han comparado datos de diferentes fuentes. En la siguiente figura se puede ver un estancamiento del precio medio de la batería eléctrica en los últimos cuatro años, sin diferenciar entre la tecnología del cátodo. Aun así, sirve para hacerse una idea del estancamiento del precio en los últimos años, debido principalmente a la incapacidad para reducir el precio de las celdas. En todo caso, al comparar con otras fuentes, que ofrecen una reducción aproximada de un 4%, se ha optado por elegir un 2% anual de reducción del precio de las baterías LFP de aquí a 2030 [38].

Figure 1: Volume-weighted average lithium-ion battery pack and cell price split, 2013-2022



Source: BloombergNEF. All values in real 2022 dollars. Weighted average survey value includes 178 data points from passenger cars, buses, commercial vehicles and stationary storage.

Figura 20. Evolución del precio medio de las baterías en los últimos 10 años [39]

Por último, la inflación media se ha obtenido del portal de Statista, eligiéndose la inflación mediana de entre los últimos 10 años, obviando la alta inflación que se está viviendo últimamente [40].

A continuación, se procede a realizar el correspondiente análisis financiero. Para ello, se calculará el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el periodo de retorno. Cabe destacar que se utilizará la tasa de inflación como tasa de descuento. El desglose de los datos es el siguiente:

- Inversión inicial: 4.500.000.000 euros
- Flujos de caja:
 - Año 1: 271.000.000 euros
 - Año 2: 265.000.000 euros
 - Año 3: 260.000.000 euros
 - Año 4: 255.000.000 euros
 - Años 5 al 30: 250.000.000 euros
- Inflación del 2% anual

Los cálculos por realizar se explican a continuación.

1. Valor Presente Neto (VPN): se calcula sumando los flujos de caja descontados al valor presente utilizando una tasa de descuento apropiada (En este caso, la tasa de

inflación del 2% como tasa de descuento).

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+k)^t} - FE_0$$

Donde t es el año correspondiente, Feo la inversión inicial, “k” la tasa de descuento y FEt los flujos de cada año. El cálculo, por tanto, quedaría de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} VPN = & -4.500.000.000 + (271.000.000/(1 + 0.02)^1) \\ & + (265.000.000/(1 + 0.02)^2) + (260.000.000/(1 + 0.02)^3) \\ & + (255.000.000/(1 + 0.02)^4) + (250.000.000/(1 + 0.02)^5) \\ & + (250.000.000/(1 + 0.02)^6) + ... \\ & + (250.000.000/(1 + 0.02)^{30}) \end{aligned}$$

Los resultados obtenidos se muestran a continuación. Como se puede observar, se ha obtenido un valor actual neto de 649 millones de euros, mientras que el valor del TIR es del 2,95%. Es decir, que para una inflación media de 2,95% anual, el valor actual neto del proyecto para un horizonte de 30 años sería cero. Cabe destacar aquí que en el análisis se han realizado varias hipótesis. En primer lugar, se ha considerado una inflación mediana de los últimos años, y constante con los años. Esto no se corresponde a la realidad puesto que la inflación es volátil y puede ir cambiando. En todo caso, el valor mediano es el que mejor podría paliar esta volatilidad. En cuanto al horizonte del proyecto, también está en duda. Mientras que se trata de una inversión notable en la que, como mínimo, se esperan producciones de 25 años, la capacidad de la fábrica y el horizonte de tiempo en el que produzca, también podrían variar. No tanto, en principio, lo haría el precio de venta. Diferentes fuentes prevén un estancamiento de los precios de estos tipos de baterías, a la espera de nuevos avances o nuevas tecnologías, que aún no están implantadas. Por lo tanto, el estudio sirve para analizar los órdenes de magnitud, tiempos de retorno y parámetros financieros que las diferentes empresas de este mercado están dispuestas a llevar a cabo, con las implicaciones de riesgos que tiene. Aun así, la diferencia en cuanto a los parámetros sería notable entre una empresa y otra, debido a la diferencia de márgenes, de capacidad, de costes, y no tanto de precio de venta, mayormente impuesto por el mercado. Los valores del NPV y del TIR se exponen a continuación.

NPV	649.279.958,46 €
TIR	2,95%

Tabla 5. Valores del NPV y del TIR de la inversión realizada por Volkswagen (Autoría Propia)

2. Tasa Interna de Retorno (TIR): es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja con la inversión inicial. Se determina encontrando la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero. Se calcula directamente con Excel.

3. El Periodo de Retorno, (también conocido como Payback Period): se calcula determinando el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de efectivo generados por el proyecto. En esencia, es el período de tiempo que toma para que los flujos de efectivo acumulados igualen o superen la inversión inicial. Se puede apreciar en la siguiente tabla como el año 2043 es el supone un punto de inflexión y en el que se recupera la inversión inicial en términos de periodo de retorno y sin tener en cuenta la inflación. Se estaría por tanto ante un proyecto con una inversión con un periodo de retorno de 20 años.

Parámetros	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Ventas (GWh)	0	0	0	0	40	40	40	40	40	40
Precio Venta (€/kWh)	90	88,2	86,436	84,70728	83,0131344	81,35287171	79,72581428	78,13129799	78	78
Ventas (€)				3.388.291.200,00 €	3.320.525.376,00 €	3.254.114.868,48 €	3.189.032.571,11 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €
Margen Neto		€ -	€ -	€ 271.063.296	€ 265.642.030	€ 260.329.189	€ 255.122.606	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154
Inversión	-€ 4.500.000.000,00									
Flujo de caja	-€ 4.500.000.000,00	€ -	€ -	€ 271.063.296,00	€ 265.642.030,08	€ 260.329.189,48	€ 255.122.605,69	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58
PAYBACK	-€ 4.500.000.000,00	-€ 4.500.000.000,00	-€ 4.500.000.000,00	-€ 4.228.936.704,00	-€ 3.963.294.673,92	-€ 3.702.965.484,44	-€ 3.447.842.878,75	-€ 3.197.822.725,18	-€ 2.947.802.571,60	-€ 2.697.782.418,03

2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €
€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154
€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58
-€ 2.447.762.264,45	-€ 2.197.742.110,88	-€ 1.947.721.957,30	-€ 1.697.701.803,73	-€ 1.447.681.650,15	-€ 1.197.661.496,58	-€ 947.641.343,00	-€ 697.621.189,43	-€ 447.601.035,85	-€ 197.580.882,28	€ 52.439.271,30

2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	#####	#####	3.125.251.919,69 €	3.125.251.919,69 €	#####	#####	3.125.251.919,69 €
€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154	€ 250.020.154
€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58	€ 250.020.153,58
€ 302.459.424,87	€ 552.479.578,45	€ 802.499.732,02	#####	#####	€ 1.552.560.192,75	€ 1.802.580.346,32	#####	#####	€ 2.552.640.807,05

Tabla 6. Medidas financieras de la planta de Sagunto (2023-2030), (Autoría Propia)

6 PANORAMA EUROPEO DE AUTOBUSES ELÉCTRICOS URBANOS

6.1 Introducción

En este apartado del trabajo se procede a analizar una parte del sector del transporte europeo, los autobuses urbanos. En la siguiente imagen se puede observar el porcentaje del sector transportes en España que representan los autobuses, así como al resto de medios de transporte. Cabe destacar que se han cuantificado el número de desplazamientos para obtener esta distribución. Siendo el transporte urbano el 60% de la totalidad de los desplazamientos de autobuses [41], se obtendría un 10% aproximadamente de desplazamientos del sector transportes (parte rodada) debido al autobús urbano en España. Posteriormente se explicará la obtención de este número.

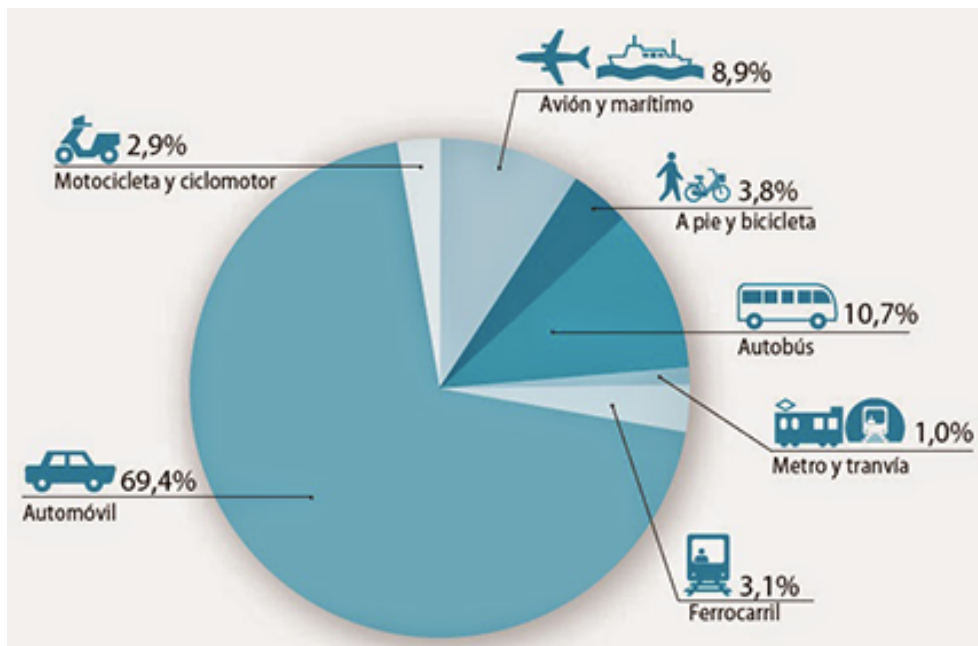


Figura 21. Reparto de modos de transporte por número de desplazamientos [42]

6.2 Metodología

La metodología en este caso es análoga a la del estudio de las fábricas europeas. Los pasos por seguir se enumeran a continuación.

- a) Listado de los competidores del mercado
- b) Estudio y búsqueda de la información de cada competidor
- c) Recopilación de la información interesante: número de buses vendidos, capacidades de las baterías de los autobuses vendidos, y tecnología de la batería.
- d) Realización de gráficas con estos datos.

6.3 Resultados

Posteriormente se ha realizado una gráfica, considerando las ventas de autobuses según el tipo de batería. Cabe destacar que también se ha comprobado si la gráfica obtenida considerando las ventas según la capacidad media de las baterías es prácticamente idéntica. Se observó que el cambio no es muy notable puesto que la capacidad de cada autobús no oscila mucho respecto a la media, sobre todo en los casos de las empresas con una mayor cuota de mercado. Se puede observar, además, una clara tendencia de los autobuses de origen chinos hacia la tecnología LFP, debido principalmente a su mayor apuesta por este tipo de tecnología, al contar con más recursos. Así mismo, se puede observar como la cuota de LFP es mayor en este caso que en el del panorama de fabricación. Esto es debido, principalmente, a la mencionada presencia de marcas chinas en el mercado de autobuses, que exportan sus productos desde allí, a diferencia de las empresas de fabricación de baterías chinas que operan en Europa, cuyos productos se fabrican en el mismo continente.

La principal razón por la que se han estudiado los autobuses y no los vehículos privados es por la mayor disponibilidad de información. El conjunto del panorama de fabricación general con la realidad de los autobuses eléctricos puede servir para tener una idea más concisa de que pasará en el sector en general en los próximos años. Como se puede observar el transporte rodado (coches y buses) supone un 80% del total, siendo el transporte en autobús un 15% del transporte rodado. Teniendo en cuenta que los autobuses urbanos representan un 66% del total de autobuses de pasajeros, estos representan, por tanto, un 10% de este sector, así se tomará esta cuota para la fórmula general que se aplicará posteriormente.

Marca	Ventas	Cuota	Tecnología
Yutong	479	13,9%	LFP
BYD - ADL	465	13,5%	LFP
Mercedes	405	11,8%	NMC
Iveco Bus	347	10,1%	NMC
VDL	344	10,0%	NMC
Solaris	342	10,0%	NMC,LFP,LTO
BYD	322	9,4%	LFP
Volvo Bus	232	6,8%	NMC
MAN	230	6,7%	NMC
Karsan	135	3,9%	LFP
Golden Dragon	133	3,9%	LFP

Tabla 7. Cuota de mercado según ventas de los principales fabricantes de autobuses urbanos europeos (Autoría Propia)

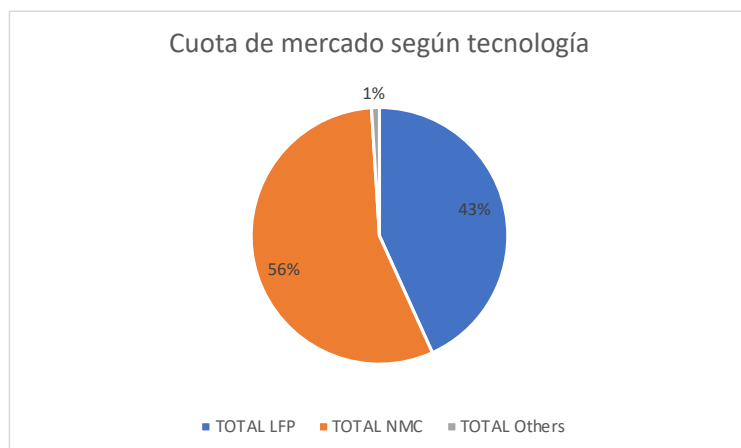


Figura 22. Cuota de cada tecnología de baterías en el mercado de autobuses eléctricos

$$\begin{aligned} \text{Cuota Total NMC} &= \text{Cuota NMC buses} * 0,04 + \text{Cuota NMC fabricación} * 0,96 \\ &= 0,56 * 0,1 + 0,7 * 0,9 = 0,682 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cuota Total LFP} &= \text{Cuota LFP buses} * 0,04 + \text{Cuota LFP fabricación} * 0,96 \\ &= 0,43 * 0,1 + 0,27 * 0,9 = 0,283 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cuota Total otros} &= \text{Cuota otros buses} * 0,04 + \text{Cuota otros fabricación} * 0,96 \\ &= 0,01 * 0,1 + 0,04 * 0,9 = 0,035 \end{aligned}$$

En la siguiente gráfica se puede ver la distribución final de cada tipo de tecnología de batería del sector transportes en general. Hay que tener en cuenta que hay ciertos medios de transporte como son el tren el avión o el barco que o bien se electrificaran tan rápido, o su electrificación no requiere de baterías, como es el caso de las soluciones ferroviarias, que se alimentan de electricidad a través del pantógrafo en algunos casos.

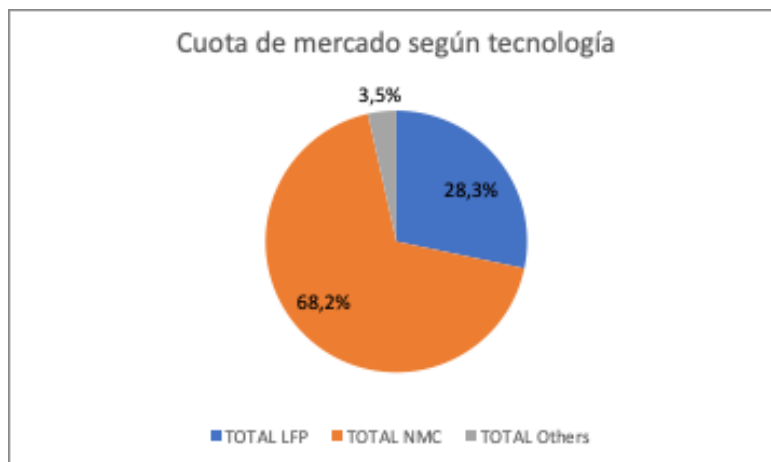


Figura 23. Distribución final del mercado según tecnología de las baterías

7 BASE DE DATOS DE GIGAFACTORÍAS

7.1 Esquema lógico

El presente apartado pretende aportar al estado del arte una base de datos que recopile toda la información referente a las giga factorías existentes en el continente. Se creará una base de datos relacional con claves primarias y foráneas que identifiquen y distingan cada entrada de estas. El esquema relacional de la base de datos se muestra a continuación.

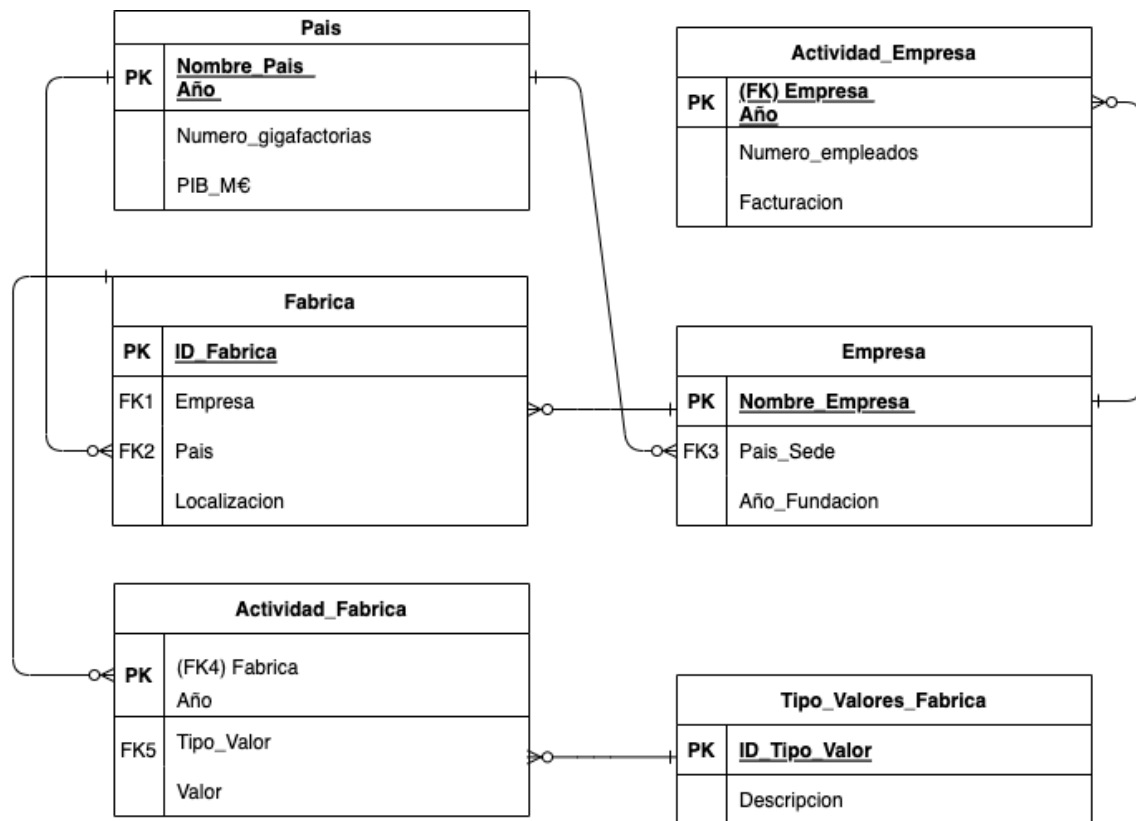


Figura 24. Esquema lógico de la base de datos

A continuación, se procede a crear la base de datos, mediante lenguaje SQL. Antes de crear el “script”, es necesario conectarse al local host.

7.2 Creación de la base de datos

A continuación, se procede a crear la base de datos. Como se puede ver se han establecido claves primarias propias para las tablas Pais, Empresa, Fabrica, y Tipo_Valores_Fabrica, mientras que para las tablas Actividad_Empresa y Actividad_Fabrica, las claves primarias están formadas por el conjunto del nombre/ID de la empresa/fábrica, más el año correspondiente. El conjunto de estos dos parámetros diferencia a una entrada de otra. Además, cabe destacar que algunas claves primarias como es el nombre de la empresa es de caracteres y no numérica, de la misma manera que lo es la clave Nombre_Pais. Las columnas añadidas, así como el añadido de las claves, se pueden ver a continuación.

En la siguiente tabla se especifica el tipo de variable de cada una de ellas.

Variable	Type of Variable
ID_Fabrica	INT
Nombre_Pais	VARCHAR
Año	INT
Valor	INT
ID_Tipo_Valor	INT
Descripcion	VARCHAR
Nombre_Empresa	VARCHAR
Numero_Gigafactorias	INT
Facturacion	INT
Localizacion	VARCHAR
PIB	INT
Numero Empleados	INT

Tabla 8. Variables y tipos de variable de la base de datos (Autoría Propia)

```
CREATE DATABASE TFM;
```

```
USE TFM;
```

```
CREATE TABLE Pais (
  Nombre_Pais VARCHAR(50),
  Año INT,
  Numero_gigafactorias INT,
  PIB_M€ INT,
  PRIMARY KEY (Nombre_Pais, Año)
);
```

```
CREATE TABLE Empresa (
  Nombre_Empresa VARCHAR(50) PRIMARY KEY,
  Pais_Sede VARCHAR(50),
  Año_Fundacion INT,
  FOREIGN KEY (Pais_Sede) REFERENCES Pais(Nombre_Pais)
);
```

```

CREATE TABLE Actividad_Empresa (
  Empresa VARCHAR(50),
  Año INT,
  Num_empleados INT,
  Facturacion INT,
  PRIMARY KEY (Empresa, Año),
  FOREIGN KEY (Empresa) REFERENCES Empresa (Nombre_Empresa)
);

CREATE TABLE Fabrica (
  ID_Fabrica INT PRIMARY KEY,
  Empresa VARCHAR(50),
  Localizacion VARCHAR(50),
  Pais VARCHAR(50),
  FOREIGN KEY (Empresa) REFERENCES Empresa (Nombre_Empresa),
  FOREIGN KEY (Pais) REFERENCES Pais (Nombre_Pais)
);

CREATE TABLE Tipo_Valores_Fabrica (
  ID_Tipo_Valor_Fabrica INT PRIMARY KEY,
  Descripcion VARCHAR(50)
);

CREATE TABLE Actividad_Fabrica (
  Fabrica INT,
  Año INT,
  Tipo_Valor INT,
  Valor INT,
  PRIMARY KEY (Fabrica, Año, Tipo_Valor),
  FOREIGN KEY (Fabrica) REFERENCES Fabrica (ID_Fabrica),
  FOREIGN KEY (Tipo_Valor) REFERENCES
Tipo_Valores_Fabrica (ID_Tipo_Valor_Fabrica)
);

```

Este es un ejemplo de creación de la tabla `Actividad_Fabrica` que, como se ha explicado anteriormente, registra los datos no estacionarios de las fábricas. El primer paso es el comando `create`, que está precedido por el nombre de la tabla. Luego, se agregan todas las entradas (columnas) de la tabla y sus nombres. Como se puede observar es importante agregar también el tipo de variable en cuestión. Los 3 últimos pasos se refieren a la declaración de clave principal y claves externas. La clave principal selecciona `Fabrica`, `Año` y `Tipo_Valor` como la clave principal de la tabla, ya que la suma de estas 3 columnas es única y diferente del resto. Además, se agregan las claves foráneas del ID de la fábrica y el tipo de valor de las respectivas tablas.

```

CREATE TABLE Actividad_Empresa (
  Empresa VARCHAR(50),
  Año INT,
  Num_empleados INT,
  Facturacion INT,
  PRIMARY KEY (Empresa, Año),
  FOREIGN KEY (Empresa) REFERENCES Empresa (Nombre_Empresa)
);

```

7.3 Introducción de registros en la base de datos

En este apartado se procede a rellenar de datos la base creada anteriormente. En primer lugar, se añaden todos los países en cuyo territorio existe alguna giga fábrica o existirá en la próxima década, a mayores de China y Japón. Posteriormente, se añade la información de las empresas que tiene fábricas en España y Francia. Cabe destacar que no se han añadido la totalidad de las empresas que conforman el mercado por simplicidad, puesto que se trata de un ejemplo. La base de datos podría ampliarse cuanto se quisiera. En la tabla de la actividad de las empresas se han añadido algunos valores. Se ha obviado la facturación de 2023 puesto que todavía no se sabe, asignando un valor “null”. De la misma manera se han creado las siguientes tablas.

Como se ha hecho en el apartado anterior, se explicará una parte del código utilizado para llenar la base de datos. Este caso es un poco más simple ya que las relaciones y claves ya están creadas. Por lo tanto, solo es necesario llenar los espacios vacíos con el mismo número de columnas y con el tipo de datos especificado en la Tabla 1. La función INSERTAR sigue la estructura que se muestra en las siguientes líneas de código.

```
INSERT INTO Pais (Nombre_Pais, Año, Numero_gigafactorias, PIB_M€)
VALUES
('España', 2023, 1, 1427000),
('Francia', 2023, 0, 2958000),
('Italia', 2023, 1, 2108000),
('Grecia', 2023, 1, 214000),
('Serbia', 2023, 0, 63000),
('Suecia', 2023, 1, 635000),
('Eslovaquia', 2023, 0, 116000),
('Hungria', 2023, 3, 182000),
('Polonia', 2023, 1, 680000),
('Noruega', 2023, 0, 428000),
('Alemania', 2023, 3, 4260000),
('Japon', 2023, null, 4941000),
('China', 2023, null, 17730000);
```

```
INSERT INTO Empresa (Nombre_Empresa, Pais_Sede, Año_Fundacion)
VALUES
('Phi4Tech', 'España', 2018),
('Envision AESC', 'Japon', 2009),
('BasqueVolt', 'España', 2021),
('Volkswagen', 'Alemania', 1937),
('ACC', 'Francia', 2019),
('Verkor', 'Francia', 2020);
```

```
INSERT INTO Actividad_Empresa (Empresa, Año, Num_empleados,
Facturacion) VALUES
('Phi4Tech', 2023, 49, null),
('Envision AESC', 2023, 7000, null),
('BasqueVolt', 2023, 100, null),
```

```
('Volkswagen', 2023, 626715, null),  
( 'ACC', 2023, 2500, null),  
( 'Verkor', 2023, 0, null);
```

```
INSERT INTO Fabrica (ID_Fabrica, Empresa, Localizacion, Pais)
```

```
VALUES
```

```
(1, 'Phi4Tech', 'Badajoz', 'España'),  
(2, 'Envision AESC', 'Navalmoral de la Mata', 'España'),  
(3, 'BasqueVolt', 'Vitoria', 'España'),  
(4, 'Volkswagen', 'Sagunto', 'España'),  
(5, 'ACC', 'Billy-Berclau', 'Francia'),  
(6, 'Envision AESC', 'Douai', 'Francia'),  
(7, 'Verkor', 'Dunkirk', 'Francia');
```

```
INSERT INTO Tipo_Valores_Fabrica (ID_Tipo_Valor_Fabrica,  
Descripcion) VALUES
```

```
(1, 'Produccion LFP (GWh)'),  
(2, 'Produccion NMC (GWh)'),  
(3, 'Produccion Others (GWh)'),  
(4, 'Produccion UNKNOWN (GWh)'),  
(5, 'Capacidad Fabrica (GWh)');
```

```
INSERT INTO Actividad_Fabrica (Fabrica, Año, Tipo_Valor, Valor)
```

```
VALUES
```

```
(1, 2028, 3, 10),  
(2, 2028, 4, 20),  
(3, 2028, 2, 13),  
(4, 2028, 1, 40),  
(5, 2028, 2, 24),  
(6, 2028, 2, 18),  
(7, 2028, 2, 35);
```

7.4 Consultas en la base de datos

El presente apartado se corresponde con las consultas de la base de datos creadas y rellenadas anteriormente. En primer lugar, se selecciona cada tabla por individual para comprobar que todo está según se asignó en el apartado anterior. Posteriormente se hacen algunas consultas con condiciones como puede ser los países que tengan 3 o más giga fábricas en su terreno, ver todas las empresas y sus datos que tengan la sede en Alemania, o ver la actividad de una empresa en cuestión en un año en cuestión.

La penúltima consulta merece una explicación más expandida. En definitiva, se pretende hacer un doble JOIN de tres tablas, la de Fabrica, Actividad_Fabrica, y la de Tipo_Valor_fabrica. Primero se desplegará una consulta para ver las diferentes fábricas junto con cierta información de su actividad y la información del tipo de valor de la actividad de la fábrica. Para ello será necesaria una doble función JOIN, ya que es necesario unir tres tablas conectadas por claves. Para ello, primero es necesario unir dos de ellas, y luego la tercera. Como se puede observar, las tablas Fabrica y

Actividad_Fabrica son las primeras en unirse, seguidas de la tabla Tipo_Valores_Fabrica. La llave que conecta Fabrica con Actividad_Fabrica es la clave principal de Fabrica denominada ID_Fabrica, mientras que la clave que conecta Actividad_Fabrica con Tipo_Valores_Fabrica es la clave principal de Tipo_Valores_Fabrica, denominada ID_Tipo_Valor_Fabrica. También es importante señalar que en el primer paso de la tabla Tipo_Valores_Fabrica se extrajo el ID que corresponde a la producción de NMC. Para ello hay que hacer varias selecciones primero y decidir qué columnas interesan. Cabe destacar que los resultados de las tablas derivadas se deben almacenar en otra tabla, de ahí el nombre de las tablas auxiliares 1 y 2. El resultado de esta consulta muestra todas las fábricas que fabrican NMC a lo largo de todos los años. En este caso, como sólo se han rellenado registros del año 2028, sólo aparecen estos. Los datos que se pretenden mostrar son el nombre de la empresa, la localización (ciudad) de la fábrica, el país, la tecnología de cátodo de batería que está produciendo, la cantidad, y en qué año se ha producido o se pretende producir.

```

SELECT * FROM Pais;
SELECT * FROM Empresa;
SELECT * FROM Actividad_Empresa;
SELECT * FROM Fabrica;
SELECT * FROM Tipo_Valores_Fabrica;
SELECT * FROM Actividad_Fabrica;

SELECT * FROM Pais; /*WHERE Nombre_Pais LIKE 'España';*/
SELECT * FROM Pais WHERE Numero_gigafactorias >= 3;

SELECT * FROM Empresa WHERE Pais_Sede LIKE 'Alemania';
SELECT * FROM Actividad_Empresa WHERE Empresa LIKE 'Phi4Tech' AND
año LIKE 2023;
SELECT * FROM Actividad_Empresa WHERE Num_empleados > 2000 AND año
LIKE 2023;

SELECT * FROM Fabrica WHERE Pais LIKE 'Francia';

SELECT Empresa, Localizacion, Pais, Descripcion, Valor, Año FROM
(SELECT * FROM
(SELECT * FROM Actividad_Fabrica WHERE Tipo_valor =
(SELECT ID_Tipo_Valor_Fabrica FROM Tipo_Valores_Fabrica WHERE
Tipo_Valores_Fabrica.Descripcion LIKE 'Producción NMC (GWh)')) AS
table_aux1
JOIN Fabrica ON table_aux1.Fabrica = Fabrica.ID_Fabrica) AS
table_aux2
JOIN Tipo_Valores_Fabrica ON table_aux2.Tipo_Valor =
Tipo_Valores_Fabrica.ID_Tipo_Valor_Fabrica;

SELECT Empresa, Localizacion, Pais, Pais_Sede, Año_Fundacion FROM
(SELECT * FROM Fabrica JOIN
Empresa ON Fabrica.Empresa = Empresa.Nombre_Empresa) AS
table_aux3;

```

En la última consulta se pretende hacer un JOIN entre las tablas de fábrica y empresa de tal manera que para cada fabrica se muestren los datos indicados de la empresa que la dirige.

7.5 Resultados de las consultas

La siguiente tabla muestra una parte de los países añadidos a la base de datos.

	Nombre_Pais	Año	Numero_gigafactorias	PIB_M€
▶	Alemania	2023	3	4260000
	China	2023	NULL	17730000
	Eslovaquia	2023	0	116000
	España	2023	1	1427000
	Francia	2023	0	2958000

Tabla 9. Resultados de la tabla Pais (Autoría Propia)

La siguiente tabla muestra las empresas añadidas a la base de datos.

	Nombre_Empresa	Pais_Sede	Año_Fundacion
▶	ACC	Francia	2019
	BasqueVolt	España	2021
	Envision AESC	Japon	2009
	Phi4Tech	España	2018
	Verkor	Francia	2020
	Volkswagen	Alemania	1937

Tabla 10. Resultados de la tabla Actividad_Pais (Autoría Propia)

La siguiente tabla muestra la actividad de las empresas añadidas a la base de datos.

	Empresa	Año	Num_empleados	Facturacion
▶	ACC	2023	2500	NULL
	BasqueVolt	2023	100	NULL
	Envision AESC	2023	7000	NULL
	Phi4Tech	2023	49	NULL
	Verkor	2023	0	NULL
	Volkswagen	2023	626715	NULL

Tabla 11. Resultados de la tabla Actividad_Empresa (Autoría Propia)

La siguiente tabla muestra las fábricas añadidas a la base de datos.

ID_Fabrica	Empresa	Localizacion	Pais
1	Phi4Tech	Badajoz	España
2	Envision AESC	Navalmoral de la Mata	España
3	BasqueVolt	Vitoria	España
4	Volkswagen	Sagunto	España
5	ACC	Billy-Berclau	Francia
6	Envision AESC	Douai	Francia
7	Verkor	Dunkirk	Francia

Tabla 12. Resultados de la tabla Fabrica (Autoría Propia)

La siguiente tabla muestra la descripción de cada ID de tipo de valor.

ID_Tipo_valor_Fabrica	Descripcion
1	Produccion LFP (GWh)
2	Produccion NMC (GWh)
3	Produccion Others (GWh)
4	Produccion UNKNOWN (GWh)
5	Capacidad Fabrica (GWh)

Tabla 13. Resultados de la tabla Tipo_Valores_Fabrica (Autoría Propia)

La siguiente tabla muestra la actividad de cada fábrica.

Fabrica	Año	Tipo_valor	Valor
1	2028	3	10
2	2028	4	20
3	2028	2	13
4	2028	1	40
5	2028	2	24
6	2028	2	18
7	2028	2	35

Tabla 14. Resultados de la tabla Actividad_Fabrica (Autoría Propia)

La siguiente tabla muestra los países que cuentan con más de 3 giga fábricas.

Nombre_Pais	Año	Numero_gigafactorias	PIB_M€
Alemania	2023	3	4260000
Hungria	2023	3	182000

Tabla 15. Resultados de la consulta de los países con 3 o más giga fábricas (Autoría Propia)

Las empresas con sede en Alemania.

	Nombre_Empresa	Pais_Sede	Año_Fundacion
▶	Volkswagen	Alemania	1937

Tabla 16. Resultado de la consulta de las empresas con sede en Alemania (Autoría Propia)

Las empresas con más de 2000 empleados.

	Empresa	Año	Num_empleados	Facturacion
▶	ACC	2023	2500	NULL
	Envision AESC	2023	7000	NULL
	Volkswagen	2023	626715	NULL

Tabla 17. Resultado de la consulta de las empresas con más de 2000 empleados y año 2023 (Autoría Propia)

El nombre de las empresas, la localización de la fábrica, y la producción NMC que tienen a lo largo de los años.

	Empresa	Localizacion	Pais	Descripcion	Valor	Año
▶	BasqueVolt	Vitoria	España	Produccion NMC (GWh)	13	2028
	ACC	Billy-Berclau	Francia	Produccion NMC (GWh)	24	2028
	Envision AESC	Douai	Francia	Produccion NMC (GWh)	18	2028
	Verkor	Dunkirk	Francia	Produccion NMC (GWh)	35	2028

Tabla 18. Consulta sobre las empresas que producen NMC (Autoría Propia)

El nombre de la empresa, la localización de la fábrica, el país donde opera, donde tiene la sede la empresa, y el año de fundación de esta.

	Empresa	Localizacion	Pais	Pais_Sede	Año_Fundacion
▶	ACC	Billy-Berclau	Francia	Francia	2019
	BasqueVolt	Vitoria	España	España	2021
	Envision AESC	Navalmoral de la Mata	España	Japon	2009
	Envision AESC	Douai	Francia	Japon	2009
	Phi4Tech	Badajoz	España	España	2018
	Verkor	Dunkirk	Francia	Francia	2020
	Volkswagen	Sagunto	Sagunto España	Alemania	1937

Tabla 19. Consulta de JOIN entre Fabrica y Empresa (Autoría Propia)

8 CONCLUSIONES

1. En los últimos años, la Unión Europea está tomando medidas drásticas que afectan directamente al sector automovilístico. Para la correcta transición hacia medios de transporte menos contaminantes, resulta fundamental la elección de la tecnología óptima (o mix de tecnologías) de las baterías eléctricas.
2. El sector automovilístico es, en Europa, responsable de un 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, su paulatina descarbonización es necesaria, junto a la de otras industrias, para reducir el impacto ambiental de la sociedad actual.
3. Actualmente, la industria de celdas baterías eléctricas china representa un 50% de la producción anual, distribuyéndose el 45% y 5% restantes entre Corea-Japón y Europa-USA respectivamente. Esto supone un monopolio asiático con el que las fábricas europeas deben de competir.
4. Aunque la Unión Europea haya tratado de impulsar su mercado de baterías eléctrica y de giga fábricas en los últimos años, todavía existe un 40% de desconocimiento sobre la tecnología a desarrollar para el 2030. Esto se debe a la incertidumbre acerca de qué requerimientos y qué tecnología de cátodo pedirá el mercado, al encontrar este en un momento de diversos cambios.
5. Aun así, la tecnología de química catódica LFP aumentará su cuota de mercado incluso en el escenario más pesimista, yendo desde los 15% (caso pesimista) hasta los 27% (caso optimista) en el 2030.
6. Las tecnologías de tipo “otros” (electrolitos de estado sólido, super capacitadores, cátodos de Litio metal) también aumentarán su cuota de mercado, aún en los escenarios más desfavorables.
7. El proyecto de la planta de Sagunto, de tamaño medio entre los que se están desarrollando en Europa, contaría con una inversión de 4500 M€, con un periodo de retorno de alrededor de 20 años y un VAN de 650 M€ en un análisis de 30 años. Aunque la rentabilidad es alta, enfrentan algunos riesgos como inflación o los competidores externos.
8. La creación de una base de datos sobre las giga fábricas europeas es posible, y la mayoría de información también es recopiable a excepción de, como se indicaba anteriormente, las tecnologías a desarrollar por algunas empresas.

9 FUTUROS TRABAJOS

- Los próximos pasos del proyecto consistiría en la recopilación exhaustiva de todos los datos para rellenar la base de datos, puesto que la existente es representativa y no contiene los datos de la totalidad de las fábricas.
- Cabe destacar que en el caso de este proyecto se ha elegido la frontera de Europa como punto de partida. Otra posibilidad para ampliar el proyecto y la base de datos sería añadir información de giga factorías de otros continentes, como América o Asia, principales actores del mercado global.
- Así mismo, se podrán crear modelos y aplicar técnicas de análisis de datos como relaciones entre variables, clustering, clasificación, o predicciones, entre otras.
- El riesgo de estos proyectos viene dado por varios factores: el desembolso inicial, y la posible transición hacia nuevas tecnologías, o la dependencia de recursos por parte de otros continentes, con mayor inestabilidad política. Por lo tanto, un estudio geopolítico y de recursos también sería importante para complementar en análisis financiero desarrollado en el trabajo, así como un análisis de riesgos.

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «<https://es.statista.com/estadisticas/635894/emisiones-mundiales-de-dioxido-de-carbono/#:~:text=A%20principios%20de%20siglo%2C%20las,2.000%20millones%20de%20toneladas%20m%C3%A9tricas.>»
- [2] «Gas de efecto invernadero», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 21 de mayo de 2023. Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Gas_de_efecto_invernadero&oldid=151309598
- [3] «El cambio climático», *Portal de Aragon*. <https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [4] «El Acuerdo de París». <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [5] «La carbono neutralidad: qué es y cómo se come». <https://climatetrackerlatam.org/herramientas/que-es-la-carbono-neutralidad/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [6] I. CORPORATIVA, «Las consecuencias del efecto invernadero: desde la desertificación a las inundaciones», *Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/consecuencias-efecto-invernadero> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [7] «Las revoluciones industriales - Enciclopedia | Banrepcultural». https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Las_revoluciones_industriales (accedido 23 de mayo de 2023).
- [8] «El dato del día: ¿qué sectores económicos contribuyen más a la emisión de CO2? | Prevención Integral & ORP Conference». <https://www.prevencionintegral.com/actualidad/noticias/2019/07/28/dato-dia-que-sectores-economicos-contribuyen-mas-emision-co2> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [9] «La evolución del mundo del motor hacia un entorno más limpio: estos son los pasos dados para cuidar el medioambiente». <https://www.motorpasion.com/n/evolucion-mundo-motor-entorno-limpio-estos-pasos-dados-para-cuidar-medioambiente> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [10] «🔋 CAPACIDAD de las BATERIAS de COCHES ELÉCTRICOS 🔋», *myRecarga - Proyectos, instalación y mantenimiento de infraestructuras de recarga para vehículos eléctricos*. <https://www.myrecarga.es/capacidad-baterias-coches-electricos/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [11] «Funcionamiento de las baterías: Ventajas y desventajas | Grupo Sinelec». <https://blog.gruposinelec.com/actualidad/funcionamiento-de-las-baterias-ventajas-y-desventajas/> (accedido 23 de mayo de 2023).
- [12] «TFG_Rodrigo_Vazquez_Casillas.pdf». Accedido: 23 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/29057/TFG_Rodrigo_Vazquez_Casillas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [13] C. Jin, «TÍTULO: Coche eléctrico y la batería: situación actual de mercado y su modelo».
- [14] D. Murias, «El coche eléctrico más barato se acerca: el precio de las baterías baja de los 100 dólares el kWh por primera vez en la historia», *Motorpasión*, 18 de diciembre de 2020. <https://www.motorpasion.com/industria/primera-vez-historia-precio-baterias-para-vehiculos-electricos-ha-bajado-100-dolares-kwh> (accedido 24 de mayo de 2023).
- [15] «TFM-MahouLuque,Javier.pdf». Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/61492/TFM-MahouLuque%2CJavier.pdf?sequence=1>
- [16] admin, «Tipos de baterías de iones de litio», *FH SOLAR LED IBÉRICA*, 20 de mayo de 2020. <https://fhsolarled.com/tipos-de-baterias-de-iones-de-litio/> (accedido 24 de mayo de 2023).
- [17] «Why LFP batteries are poised to bring down entry-level EV prices | TechCrunch». https://techcrunch.com/2022/06/26/why-lfp-batteries-are-poised-to-bring-down-entry-level-ev-prices/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&gucce_referrer_sig=AQAAAFZkfUswMcZtVY0omjHfEorsvW5xtf6xd0FeZ3kkDRxD9pAdMsI9Ngqb0zvRxxuAt2ZGAKPaJ8WYjN3s4-Rnkb9F0T4g9RS1YkambgIGfAzDmJmDEWpgq1sPp8Wbt6XiynVCUvMW0iyPnbVTt-UCQ8k9F4pvMUSRtVq73Zr6M-Oj (accedido 24 de mayo de 2023).
- [18] R. González y J. Miguel, «Autor: López Sánchez, David».
- [19] «Centro de investigación en almacenamiento de energía». <https://cicenergigune.com/es> (accedido 17 de julio de 2023).
- [20] «El cambio climático, en datos y gráficos». <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447> (accedido 26 de mayo de 2023).
- [21] «Los gases de efecto invernadero (GEI) : de donde proceden y cómo actúan. | Françoise Clementi», 1 de septiembre de 2019. <https://www.francoiseclementi.com/2019/cuales-son-los-gases-de-efecto-invernadero-gei/> (accedido 26 de mayo de 2023).
- [22] «Las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE aumentaron en el segundo cuatrimestre de 2022 | RETEMA». <https://www.retema.es/actualidad/las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-ue-aumentaron-en-el-segundo> (accedido 26 de mayo de 2023).
- [23] «Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo», 22 de marzo de 2019. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia> (accedido 26 de mayo de 2023).
- [24] DH, «El futuro de los coches (2): la revolución de los eléctricos | ICON ROAD», 12 de mayo de 2021. <https://www.iconroad.es/articulos/blog/el-futuro-del-automovil-2-revolucion-coches-electricos/> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [25] «Así evolucionarán los sistemas de propulsión de los automóviles hasta 2030 - Autofácil», 30 de octubre de 2021. <https://www.autofacil.es/tecnologia/evolucion-propulsion-automoviles->

- 2030/284407.html (accedido 30 de mayo de 2023).
- [26] I. CORPORATIVA, «Las baterías de ion de litio, fundamentales para el almacenamiento de energía», *Iberdrola*.
<https://www.iberdrola.com/innovacion/baterias-ion-litio> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [27] «Funcionamiento de una batería de ion-litio», *Material Eléctrico - CdeComunicacion.es*. <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/opinion/ignacio-martil/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [28] Y. Miao, P. Hynan, A. von Jouanne, y A. Yokochi, «Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements», *Energies*, vol. 12, pp. 1074-1094, mar. 2019, doi: 10.3390/en12061074.
- [29] «Tesla emplea diferentes químicas y tamaños de batería: ¿qué hay debajo del “capó” de tu Tesla?», *Híbridos y Eléctricos*, 21 de abril de 2022.
https://www.hibridosyelectricos.com/coches/tesla-emplea-diferentes-quimicas-tamanos-bateria-debajo-capo-tesla_56145_102.html (accedido 30 de mayo de 2023).
- [30] «Qnovo | LCO, LFP, NMC... CRYPTIC LIVES OF THE CATHODE». <https://www.qnovo.com/blogs/lco-lfp-nmc-cryptic-lives-of-the-cathode> (accedido 19 de julio de 2023).
- [31] «El litio: el dilema de la movilidad eléctrica». <https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20190408/461524062685/litio-dilema-coches-electricos-baterias.html> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [32] «Baterías y coches eléctricos, la lucha por el control del litio - Climática», 21 de abril de 2020. <https://www.climatica.lamarea.com/baterias-y-coches-electricos-la-lucha-por-el-control-del-litio/> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [33] «Benchmark: China dominates Li-ion battery supply chain», *Green Car Congress*. <https://www.greencarcongress.com/2022/10/20221009-benchmark.html> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [34] «Morocco: A market mover in phosphates | CRU». <https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/insights/2023/morocco-mining-indaba-a-significant-phosphates-producer/> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [35] «Estos fueron los grandes fabricantes de baterías en 2021: China y Corea al mando, y ni un proveedor europeo en el top 10». <https://www.motorpasion.com/futuro-movimiento/estos-fueron-grandes-fabricantes-baterias-2021-china-corea-al-mando-proveedor-europeo-top-10> (accedido 30 de mayo de 2023).
- [36] B. Schweber, «Lithium Batteries for EVs: NMC or LFP?», *EE Times*, 12 de enero de 2023. <https://www.eetimes.com/lithium-batteries-for-evs-go-nmc-or-lfp/> (accedido 31 de mayo de 2023).
- [37] I. Station, «Gigaprofits: “batteries not included”», *Intercalation Station*, 29 de marzo de 2023. <https://intercalationstation.substack.com/p/gigaprofits-batteries-not-included> (accedido 31 de mayo de 2023).
- [38] «Battery market forecast to 2030: Pricing, capacity, and supply and demand». <https://www.esource.com/report/130221hvfd/battery-market->

forecast-2030-pricing-capacity-and-supply-and-demand (accedido 31 de mayo de 2023).

[39] redactoramexico, «Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh», *Batteries News*, 7 de diciembre de 2022.

<https://batteriesnews.com/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-first-time-average-151-kwh/> (accedido 31 de mayo de 2023).

[40] «Precios e inflación: tasa de variación de la media anual del IPC en España», *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/476953/tasa-de-inflacion-anual-en-espana/> (accedido 31 de mayo de 2023).

[41] «INEbase / Servicios / Transporte / Estadística de transporte de viajeros / Últimos datos», *INE*.

https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176906&menu=ultiDatos&idp=1254735576820 (accedido 27 de junio de 2023).

[42] «¿Cómo nos movemos?» <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/como-nos-movemos.aspx> (accedido 27 de junio de 2023).