



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

La economía circular de las baterías de litio en España.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

AUTOR/A: Giner Salcedo, Ricardo

Tutor/a: Herrero Blasco, Aurelio

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Curso Académico 2021-2022

La economía circular de las baterías de litio en España

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Alumno:

Ricardo Giner Salcedo

Tutor:

Aurelio Herrero Blasco

Valencia, a 8 de septiembre de 2022

Agradecimientos

Este Trabajo de Fin de Grado no hubiera sido posible sin el apoyo de la gente más cercana a mí, que me acompañaron a lo largo del camino, proporcionándole las fuerzas que me llevan a alcanzar los éxitos tanto en lo profesional como en lo personal, como la realización de este trabajo de fin de grado. Debo de destacar a la gente más cercana a mí, que es mi familia que ha estado apoyándome en todo momento, y como no, a mi compañera de vida.

Por supuesto no me puedo olvidar de todos los compañeros de la Universidad que he tenido en estos maravillosos años, en los que he aprendido del uno y del otro. Gracias también a todos los trabajadores de la facultad que me han ayudado con este trabajo de investigación.

Por último, pero no menos importante, agradecer a Aurelio Herrero Blasco por darme la oportunidad de poder realizar este Trabajo de Fin de Grado, proporcionándole la información necesaria para poderme impulsar a realizar este proyecto del que tanto he aprendido.

RESUMEN

El objeto de este Trabajo de Fin de Grado es el estudio sobre la economía circular de las baterías de litio y su desarrollo en la presente economía mundial. El término economía circular se encuentra muy presente en la sociedad actual debido a que crecemos a un ritmo exponencial y los recursos son escasos, por lo que tenemos que empezar a poder alargar la vida de todos los bienes. Además, el concepto de batería de litio cada vez empieza a ser más común en nuestras vidas, cada vez más bienes que utilizamos necesitan de estas baterías para ser útiles y funcionales, desde objetos de como teléfonos móviles hasta automóviles.

Si juntamos ambos conceptos tenemos que buscar soluciones para alargar la vida a las baterías de litio que empiezan a estar más presentes en nuestro día a día, y como todo bien que existe tiene una vida útil limitada, por lo que la economía circular debe de ser parte fundamental de este sector.

A lo largo del Trabajo de Fin de Grado, veremos distintos aspectos de este sector. Profundizaremos en el mercado de las baterías de litio, explicaremos las ventajas y desventajas de este mercado. Haremos un estudio de la evolución del sector y las posibilidades que tiene en un futuro cercano de ser uno de los sectores más importantes en la economía actual. Para ello mostraremos las diferentes empresas líderes del sector y su visión de crecimiento en unos años.

Las principales conclusiones del trabajo han sido será mostrar la capacidad que tiene este mercado de la economía circular en las baterías de litio, de ser un sector de vital importancia en nuestra sociedad.

Palabras claves: Economía circular, Baterías de litio y Sostenibilidad.

ABSTRACT

The objective of this Final Degree Project is the study of the circular economy of lithium batteries and its development in the present world economy. The term circular economy is very present in today's society because we grow at an exponential rate and resources are scarce, so we have to start being able to extend the life of all goods. In addition, the concept of lithium battery is becoming more and more common in our lives, more and more goods that we use need these batteries to be useful and functional, from objects such as cell phones to cars.

If we join both concepts we have to look for solutions to extend the life of lithium batteries that are becoming more present in our daily lives, and like all goods that exist have a limited useful life, so the circular economy must be a fundamental part of this sector.

Throughout the Final Degree Project, we will see different aspects of this sector. We will delve into the lithium battery market, explaining the advantages and disadvantages of this market. We will make a study of the evolution of the sector and the possibilities that it has in the near future to be one of the most important sectors in the current economy. To do this we will show the different leading companies in the sector and their vision of growth in a few years.

The conclusion of the work will be to show the capacity of this circular economy market in lithium batteries, to be a sector of vital importance in our society.

Keywords: Circular economy, Lithium batteries and Sustainability.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

Índice

1. Introducción.....	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Objetivos.....	10
1.3. Motivaciones	10
1.4. Metodología	11
1.5. Estructura del trabajo.....	12
1.6. Conceptos básicos.....	12
2. Mercado de las baterías de litio.....	14
2.1. Historia y evolución.....	14
2.2. Componentes básicos.....	14
2.3. Coste de los componentes.....	16
2.3.1. Precio del litio	17
2.3.2. Precio del cobalto	18
2.3.3. Precio del níquel.....	18
2.4. Explotación de las materias primas.....	19
2.5. Evolución del mercado	23
2.5.1. Evolución de precios de las baterías de litio	23
2.5.2. Evolución de precios de los vehículos eléctricos	24
2.5.3. Comparativa por países de producción de baterías de litio	25
3. Economía sostenible	28
3.1. Historia y evolución.....	28
3.2. Concepto	29
3.3. Necesidad de cambio	30
3.4. Dificultades.....	31
4. La economía circular de las baterías de litio.....	33
4.1 Políticas actuales.....	34
4.2. Formas de reciclaje	36
4.2.1. Método de Hidrometalurgia	37
4.2.1. Método de Pirometalurgia.....	37
Calcinación.....	38
Fundición	38
4.3 Mercado de las baterías recicladas	38

4.3.1. Problemas actuales	38
4.3.2. Empresas del sector	39
4.3 Perspectivas de futuro del mercado.....	45
5. Ventajas y desventajas de la economía circular en este sector	51
5.1. Ventajas	51
5.1.1. Reutilización de los materiales.....	51
5.1.2. Evitar vertidos peligrosos	51
5.1.3. Creación de empleo	52
5.1.4. Reducción de costes	52
5.2. Desventajas	52
5.2.1. Dependencia.....	52
5.2.2. Costes del Reciclaje	53
5.2.3. Capacidad y Eficiencia	53
6. Conclusiones	55

Índice de figuras

Ilustración nº 1-Funcionamiento de una celda de batería de litio.....	15
Ilustración nº 2-Gráfico del precio del litio en CNY (Yuan renminbi chino/Tonelada)	17
Ilustración nº 3- Precio de los contratos de futuro del Cobalto en dólares americanos por tonelada.....	18
Ilustración nº 4-Grafica de la cotización de los futuros del cobalto.....	18
Ilustración nº 5- Precio del níquel en dólares americano/tonelada.....	18
Ilustración nº 6-Precio del Níquel en los contratos de futuro, dólar americano/ tonelada	19
Ilustración nº 7-Producción por toneladas de la extracción del Litio por país.....	20
Ilustración nº 8-Producción y Reservas del cobalto por país	21
Ilustración nº 9-Producción y Reservas mundiales del grafito.....	22
Ilustración nº 10- Volumen medio del precio/dólar de las celdas de las baterías de litio	23
Ilustración nº 11-Precio medio de oferta de los vehículos eléctricos por CCAA a cierre del primer semestre y variación respecto 2021.....	24
Ilustración nº 12-Capacidad de producción, de materias primas, demanda y oferta por países	26
Ilustración nº 13-Los pasos que dan forma a una economía circular	30
Ilustración nº 14- Objetivos de los ODS	31
Ilustración nº 15-Normativa de la UE para industria de las baterías	36
Ilustración nº 16-Empresas recicladoras de baterías.....	40
Ilustración nº 17-Modelo de reciclaje de Li-Cycle.....	42
Ilustración nº 18-Número de fábricas de baterías en Europa.....	44
Ilustración nº 19-Demanda por sectores de la batería de litio	45
Ilustración nº20- Mercado anual de las baterías de litio en billones de dólares	46
Ilustración nº 21- Evolución del sector de las baterías de sodio en los próximos años ..	48
Ilustración nº 22 - Tamaño del mercado y gasto en inversión para los futuros años. 2020 y 2050.	49
Ilustración nº 23 - Uso por sectores del hidrógeno	50

1. Introducción

1.1. Introducción

En la actualidad cada vez es más esencial la sostenibilidad, por eso cada vez las empresas buscan optimizar sus procesos tanto económicos como sociales. Se busca dar valor a la empresa de forma que los consumidores vean una marca sostenible y responsable con el medio ambiente. Por ello, las empresas han ido evolucionando a lo largo de su trayectoria creando nuevos productos que puedan satisfacer las necesidades de los consumidores y sean responsables con el medio ambiente.

La ciencia ha ido evolucionando y descubriendo nuevos productos que sean lo menos dañinos con el planeta y cubran nuestras necesidades.

Es por ello que las baterías de litio empiezan a aparecer en nuestras vidas, desde la evolución de los coches a simples maquinillas de afeitar a teléfonos móviles, todos estos objetos tienen una cosa en común: las baterías de litio. Con gran capacidad de duración y eficiencia, el mundo ha ido buscando alternativas para sustituir lo que nos generaba problemas.

Siguiendo con el ejemplo de los coches, hemos visto la evolución de cómo se ha buscado una alternativa a los combustibles tradicionales que eran tan dañinos para el planeta. Una vez se decide evolucionar de un combustible fósil a una energía limpia que no emite CO₂, hemos visto que la solución al problema traía otra desventaja, la basura generada por las baterías de litio. Es aquí cuando entra la economía circular en este sector. Sabemos que todos los bienes (aunque tengan menos impacto en la sociedad) tienen una vida útil determinada, es por ello que, había que crear una solución para todas estas baterías de litio. De bien poco sirve crear una solución para la contaminación de CO₂, pero no una solución para los desechos.

Es por ello por lo que muchas empresas se han dado cuenta de este problema que hay en este sector y han decidió actuar al respecto. Además, han visto la posibilidad de irrumpir con gran fuerza en este nuevo mercado y buscar posicionarse en un mercado que está creciendo exponencialmente.

1.2. Objetivos

El principal objetivo es el análisis y estudio del mercado de las baterías de litio y su economía circular. Mostraremos a grandes rasgos el mercado actual y la proyección de futuro de este sector. Dichos análisis se han realizado desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental.

Se mostrarán las ventajas y desventajas que conlleva este sector, así como las cifras económicas la previsión que se tiene en un futuro y el presente.

A lo largo del Trabajo de Fin de Grado se mostrarán conceptos con tal de entender la totalidad del trabajo sin dejar a un lado los objetivos y enfoques económicos que es en lo que nos queremos centrar. Pero para poder explicar cómo podemos obtener un beneficio tanto social como económico debemos detallar bien la evolución de las baterías de litio, su composición, su vida útil y características.

Todos estos aspectos son importantes para mostrar cómo la economía circular en este mercado proporciona grandes ventajas a las empresas (económicamente) y socialmente.

Veremos las ventajas que conlleva la economía circular desde varios enfoques como las desventajas que trae.

Pondremos ejemplos de empresas de todo el mundo, tanto europeas, norteamericanas y españolas para mostrar todos los puntos de vista.

1.3. Motivaciones

La realización de este Trabajo de Fin de Grado surge por diversos motivos que explicare a continuación. Me gustaría ofrecer la mayor perspectiva posible desde el punto económico y sostenible para todo el planeta.

La decisión de este trabajo surge de la importancia que tiene la sociedad de buscar grandes soluciones a grandes problemas.

La sociedad avanza a gran escala y con ello todos los bienes materiales. Todos los bienes tienen una vida útil y cuando llega el final de su vida deben de ser tratados de la mejor forma. Y más si son perjudiciales para el planeta como son las baterías.

La principal motivación que he tenido en este trabajo ha sido buscar como la sociedad de un problema como los desperdicios de las baterías de litio ha encontrado un nuevo mercado, en el que los grandes países buscan hacerse un hueco en este nuevo sector y empresas de todo el mundo colaboran para buscar nuevas y mejores alternativas a actuales formas de creación de baterías de litio y su reciclaje.

La realización de este Trabajo de Fin de Grado me ha hecho apasionarme por este sector y seguir investigando en ello. Me ha motivado más a buscar información.

No es una novedad que las nuevas generaciones están más involucradas con el medio ambiente, sostenibilidad y desarrollo de la sociedad.

Lo que más me llamaba la atención antes de empezar con este proyecto de investigación era la ruptura en el mercado de las baterías de litio iban a evolucionar de tal forma que sustituirán a muchas formas de energía que emitían CO₂ y a su vez que dichas baterías se podían reciclar para su posterior uso.

1.4. Metodología

La investigación ha sido a través de Google Scholar, las páginas web e informes de las empresas, periódicos nacionales online. Igualmente se ha utilizado Dialnet y Scielo. Algunas de las palabras clave que hemos tenido a lo largo del trabajo son economía circular, sostenibilidad, baterías de litio.

En primer lugar, se ha reflexionado sobre los conceptos básicos teóricos que requiere el trabajo de investigación para poder comprender al detalle el Trabajo de Fin de Grado. Se han comparado las aportaciones recibidas de tales conceptos en distintas fuentes, no solo para aportar diversos puntos de vista sino también para llegar a conceptos básicos claros. Se ha recogido información de distintos medios online nacionales como internacionales, siempre contrastándolos con la máxima transparencia posible.

Para concluir el trabajo, se ha estudiado a fondo las acciones de las diferentes empresas que trabajan en este sector tan globalizado.

1.5. Estructura del trabajo

En primer lugar, se explican los conceptos básicos que vamos a trabajar en este proyecto de final de grado para poder profundizar más al detalle, haciendo hincapié en la economía circular, explicando la evolución que ha tenido esta sostenibilidad en el paso de los años. Además, nunca vamos a dejar de lado los datos macroeconómicos que hemos obtenido de distintos medios, tanto empresas nacionales como internacionales y datos públicos.

Por otro lado, se va a exponer una explicación de diferentes empresas del sector para comprender y mostrar este mercado económico, siempre mostrando datos contrastados.

A su vez se verán similitudes entre empresas y como colaboran entre ellas para poder crecer tanto socialmente como económicamente. Mostraremos las ventajas y desventajas del sector al que vamos a estudiar.

Tendremos muy presente la visión de futuro de las empresas y como lo van a afrontar para poder cubrir con las expectativas que tiene el mercado en unos años.

Para finalizar se explica a fondo como deben y están aplicando la sostenibilidad las empresas de este sector.

1.6. Conceptos básicos

Batería: “Acumulador o conjunto de acumuladores de electricidad” (RAE, 2022).

Litio “Elemento químico metálico, alcalino, de núm. atóm. 3, muy poco denso, escaso en la corteza terrestre, donde se encuentra disperso en ciertas rocas, utilizado en la fabricación de aleaciones especiales y acumuladores eléctricos, y cuyas sales se usan como antidepresivos” (RAE, 2022).

Economía circular: “La economía circular es un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende” (UE, 2022).

Desarrollo sostenible: “El desarrollo sostenible es un concepto que aparece por primera vez en 1987 con la publicación del Informe Brundtland, que alertaba de las consecuencias medioambientales negativas del desarrollo económico y la globalización y trataba de buscar posibles soluciones a los problemas derivados de la industrialización y el crecimiento de la población” (Acciona, 2022).

2. Mercado de las baterías de litio

2.1. Historia y evolución

En el año 1912 se empezó a experimentar con las baterías de litio, hasta la fecha había habido distintos tipos de baterías, pero nunca hasta entonces con dicho componente químico como es el litio.

La primera persona que propuso las baterías de litio fue M.S. Whittingham, ganador del Premio Nobel de Química en 2019, quien utilizó sulfuro de titanio y metal de litio como electrodos, y fue la empresa Exxon quien la fabricó en 1970.

En 1980, Goodenough realizó la primera demostración de una batería de litio con carbono y óxido de cobalto y litio. En el año 1985, Akira Yoshino fabricó un prototipo de batería usando los materiales de carbón dónde introducir iones de litio. Al ser materiales sin litio metálico, la seguridad de las baterías aumentó notablemente, facilitando su crecimiento de producción a la industria.

Finalmente, fue en 1991 cuando se empezaron a crear las primeras baterías de litio. Desde 1991 hasta la actualidad ha habido numerosas modificaciones en las baterías de iones de litio. Al comienzo de los años 90 las baterías de iones de litio se usaban con carbón como electrodo negativo, hasta que en 1997 se fue redirigiendo al uso del gráfico, que hasta la actualidad es uno de los componentes principales de las baterías de iones de litio, junto al litio (García, 2019).

Hoy en día nos encontramos rodeados de dispositivos electrónicos que necesitan de las baterías de litio para su funcionamiento.

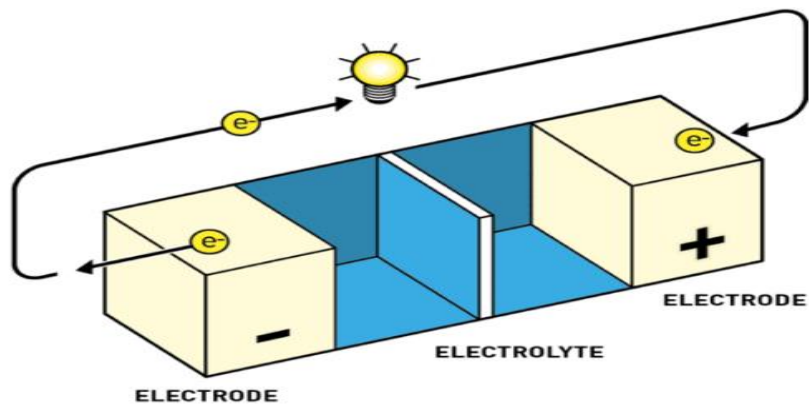
2.2. Componentes básicos

Una batería eléctrica es un sistema capaz de almacenar energía de forma química que se puede utilizar cuando se desee (Solé, 2022). Los materiales que hacen posible que esto ocurra son elementos químicos que, gracias a la combinación exacta de dichos componentes, es posible que surja la energía.

Las baterías de iones de litio son una especie de batería recargable que usa compuestos de litio en unos de sus electrodos (Bello, 2020).

El funcionamiento de las baterías de iones de litio es muy sencillo, se componen de dos componentes principalmente: un ánodo y un cátodo. El ánodo es el electrodo negativo y el cátodo son los electrodos positivos. Cuando esta es conectada los electrones negativos son atraídos por los electrodos positivos por lo que se mueven hasta el cátodo a través de un electrolito, estos movimientos de electrones dan lugar a diferentes potencias de corriente (Bello, 2020).

Ilustración nº 1-Funcionamiento de una celda de batería de litio



Fuente: (Bello, 2020)

Por lo tanto, el lado negativo es el ánodo donde se desprende de los electrones negativos y que son atraídos por el cátodo o electrodo positivo que atrae a los electrones que el ánodo libera. La lámina que se encuentra en el medio de ambos componentes es el electrolito. Este tiene una importancia vital ya que actúa como separador entre el cátodo y el ánodo. Ya que si los electrones pasan de ánodo al cátodo se produciría una diferencia de potencia (Bello, 2020).

Por el electrolito pasan los iones de litio de un extremo a otro y por el conductor externo se transfieren los electrones.

Una vez visto los tres componentes de una batería de litio que son el ánodo, cátodo y electrolito vamos a analizar de qué materias primas están compuestas para que surja esta reacción química. Ya que este trabajo de fin de grado trata de la economía circular de las

baterías de iones de litio y no de cómo funciona. Pero hace falta entender cómo se componen y cómo funcionan.

En la actualidad existen varios tipos de baterías de iones de litio dependiendo su composición química. Dependiendo para qué fin se utilice estará compuesta de unos u otros elementos químicos. En nuestro proyecto vamos a investigar de qué están compuestas las más comunes.

Los materiales más comunes que sirven para la composición del cátodo son: óxido metálico de litio (litio), níquel, manganeso y cobalto. El ánodo suele estar compuesto de grafito. Y el electrolito es un separador de polímero (Plaza, 2020).

Estas son las materias primas más comunes en todas las baterías de litio. En los apartados siguientes veremos el precio en el mercado actual y qué países son los principales exportadores de dichos componentes.

2.3. Coste de los componentes

Como hemos explicado en el apartado anterior las baterías de iones de litio están compuestas por materias primas como el: litio, cobalto, níquel y manganeso para el cátodo, y grafito para el ánodo.

Todos estos componentes suponen tener un coste muy alto por su falta de extracción al tratarse de materias primas escasas. A continuación, se verán los costes de mercado de dichas materias primas.

Cabe añadir que el precio de dichas materias primas fluctúa con el tiempo derivado por distintos motivos. En la actualidad, nos encontramos con una escasez de recursos claves para la fabricación de estos componentes por las controvertidas acciones políticas que están dando lugar a conflictos bélicos en zonas claves de estas materias primas.

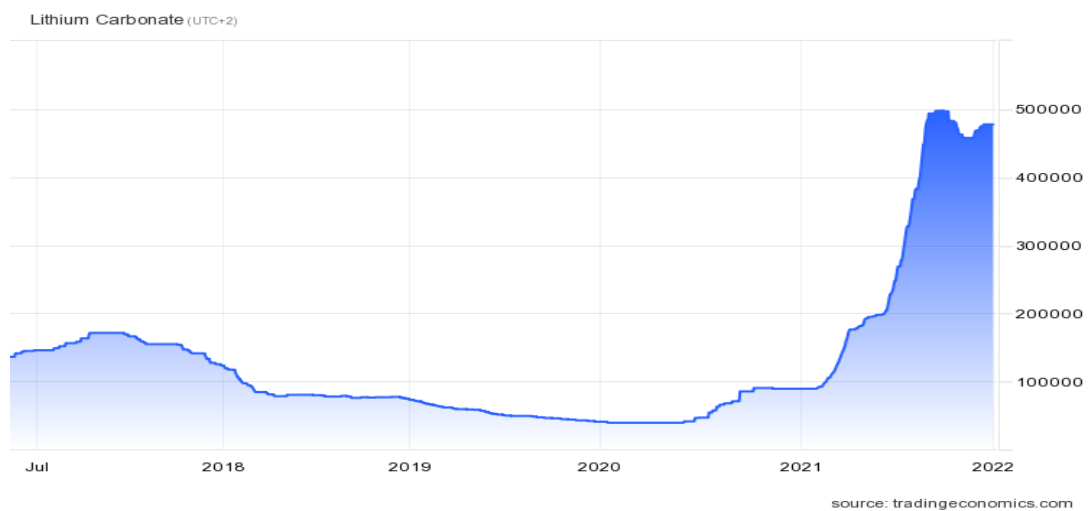
No estudiaremos el costo de las baterías de litio puesto que puede variar dependiendo el proceso de fabricación, el fin que tiene que cubrir. Además, cabe destacar que variará mucho el costo de fabricación por los costes variables y fijos empleados para cada tipo de batería de litio.

Por eso nos ceñiremos a los precios de mercado internacional y su evolución de las materias primas: litio, níquel, cobalto y grafito. Las materias primas más comunes empleadas para la fabricación de las baterías de iones de litio.

Cabe destacar que los precios que se mostrarán a continuación se obtendrán de LME (London Metal Exchange) y que la divisa será el dólar estadounidense.

2.3.1. Precio del litio

Ilustración nº 2-Gráfico del precio del litio en CNY (Yuan renminbi chino/Tonelada)



Fuente: (TradingEconomics, 2022)

El precio del litio se ha visto incrementado de forma preocupante en estos últimos años, aumento que comenzó a apreciarse claramente a lo largo del año 2021, según se aprecia en el gráfico anterior, dejándolo claro el propio Elon Musk, director ejecutivo de Tesla, en un Tweet de fecha 8 de abril de 2022.

“El precio del litio ha subido a niveles insanos. Tesla podría tener que entrar directamente en la minería y el refinado a gran escala, a menos que los costes mejoren.

No hay escasez del elemento en sí, ya que el litio está en casi toda la Tierra, pero el ritmo de extracción/refinación es lento.”

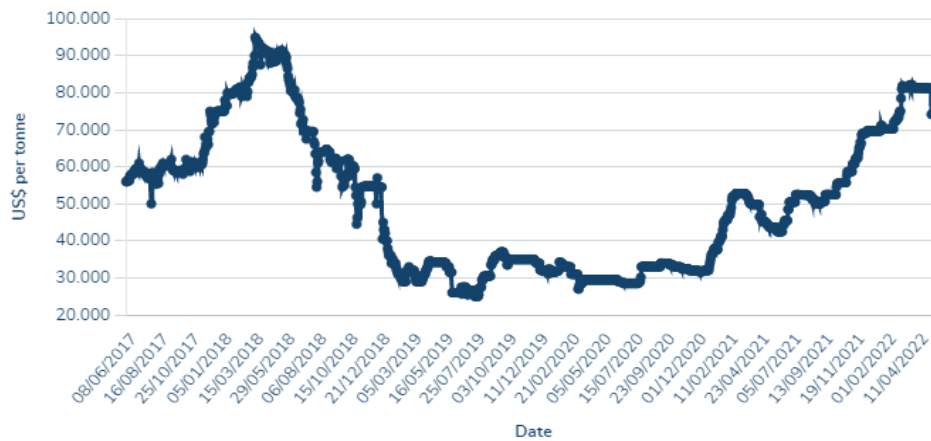
2.3.2. Precio del cobalto

Ilustración nº 3- Precio de los contratos de futuro del Cobalto en dólares americanos por tonelada

LME Cobalt Official Prices		
CONTRACT	BID	OFFER
Cash	72995.00	73495.00
3-month	73395.00	73895.00
15 month	75005.00	76005.00

Fuente: (LME HNX Company, 2022)

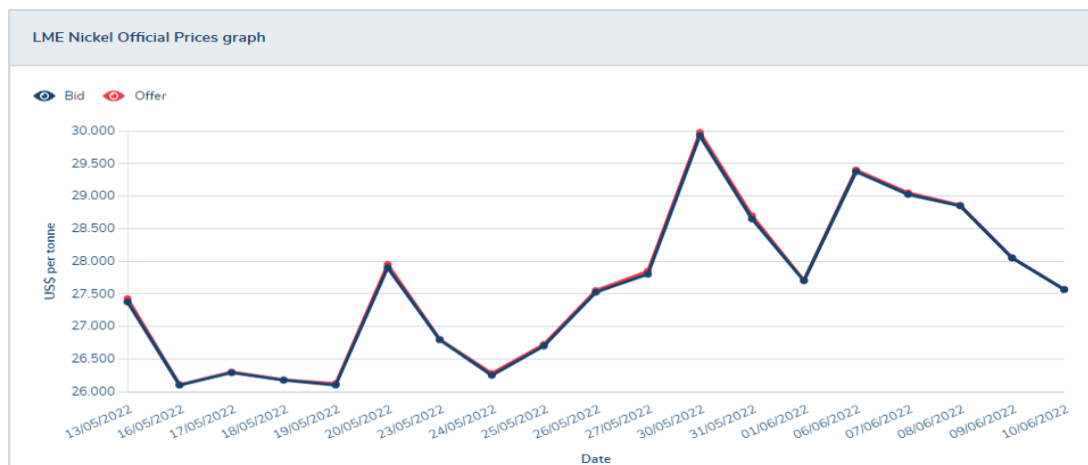
Ilustración nº 4- Grafica de la cotización de los futuros del cobalto



Fuente: (LME HNX Company, 2022)

2.3.3. Precio del níquel

Ilustración nº 5- Precio del níquel en dólares americano/tonelada.



Fuente: (LME, 2022)

Ilustración nº 6-Precio del Níquel en los contratos de futuro, dólar americano/ tonelada

LME Nickel Official Prices		
CONTRACT	BID	OFFER
Cash	27565.00	27570.00
3-month	27450.00	27500.00
Dec-23	27750.00	27800.00
Dec-24	27895.00	27945.00
Dec-25	27945.00	27995.00

Fuente: (LME, 2022)

2.4. Explotación de las materias primas

El litio es el componente más importante de las baterías de iones de litio ya que posee unas características que le hacen difícilmente sustituible por otras materias primas.

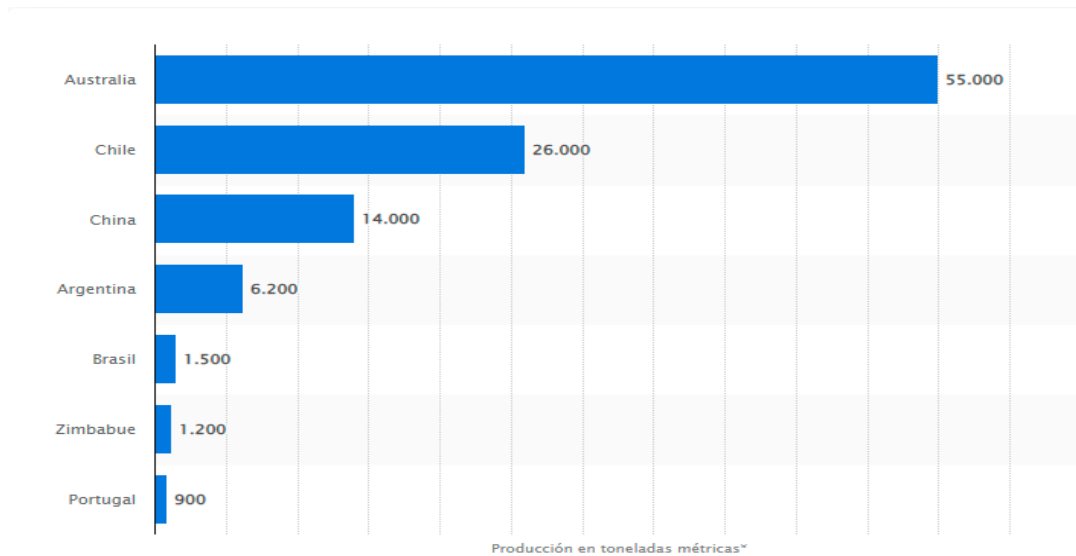
El litio es el metal más ligero, posee una densidad eléctrica diferente al resto y una capacidad de almacenar energía que el resto de los elementos químicos no poseen. Lo denominan en algunas partes del planeta el “oro blanco” del siglo XXI (Martín, 2022).

El litio se puede encontrar en diversas formas a lo largo del planeta, pero no todas ellas sirven para el fin de las baterías. Dependiendo de la forma en la que nos encontremos se realiza un método de extracción u otro.

Los yacimientos más grandes del mundo están en forma de pegmatitas, en evaporitas no marinas, en salmueras de ambientes desérticos, o salmueras asociadas a yacimientos de petróleo. Los más comunes de todos los anteriores son los de pegmatitas y los yacimientos de salmueras de lacustre salinos (H, 2018).

Los países líderes en extracción de esta materia prima son Australia, China, Chile y Argentina. Actualmente Australia es el productor número 1 del mundo en la extracción del litio. No obstante, no es el país con más reservas de litio.

Ilustración nº 7-Producción por toneladas de la extracción del Litio por país



Fuente: (Fernández, 2022)

La extracción más común en la productora más importante del mundo, Australia, es mediante pegmatitas en la extracción del litio de la roca dura.

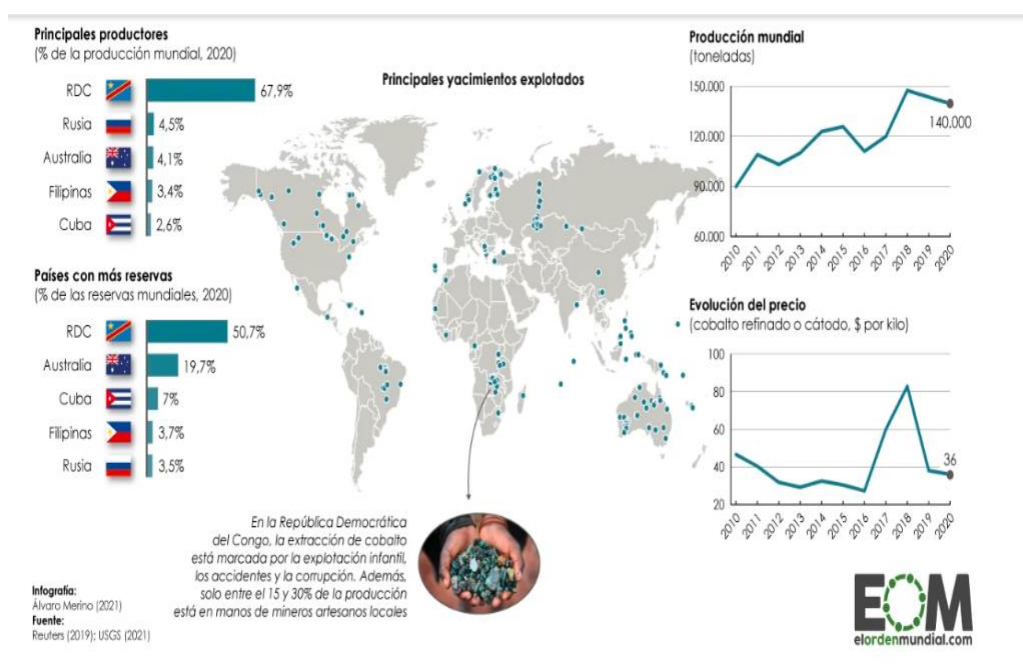
La salmuera representa el 60% de la explotación de litio mundial, el país principal que utiliza este método es Chile, debido a su situación geográfica, que hace posible este método de mimetización. Este procedimiento de extracción ha demostrado ser el más rentable que el de pegmatitas, debido a una bajada del costo de extracción.

Además de ser más económico que el de pegmatitas es más sostenible con el medio ambiente al necesitar menos maquinaria industrial de extracción del mineral. No obstante, ambos procesos de extracción del litio son altamente graves para el planeta, al producir altamente cantidades de CO2 en su elaboración, por otro lado, alteración de las zonas de explotación.

El cobalto es el otro material que se necesita junto al litio para formar parte del cátodo. Este mineral es muy buen conductor de la electricidad gracias a su composición química.

El cobalto, junto al litio, se utiliza para la fabricación del cátodo. La mayoría de cobalto que encontramos en el planeta se encuentra en República del Congo y en China (Sherman, 2018).

Ilustración nº 8-Producción y Reservas del cobalto por país



Fuente: (Merino, 2021)

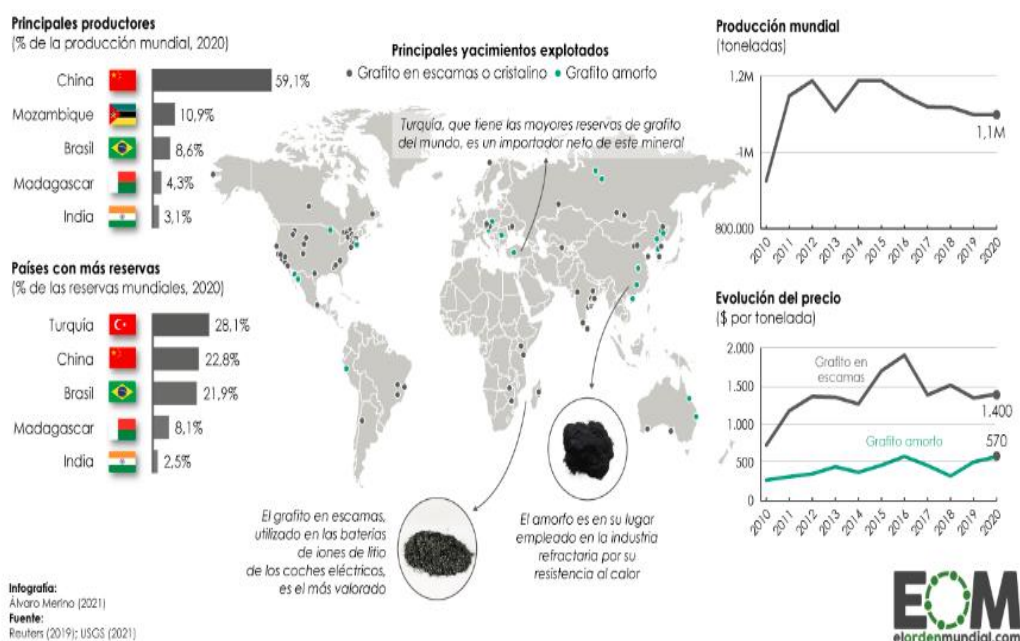
Los principales productores de cobalto son República Democrática del Congo y Zambia. El cobalto se obtiene principalmente de minerales de cobre y níquel.

Ambos minerales, cobre y níquel, son procedentes de yacimientos mineros, en zonas geográficas determinadas.

La extracción del cobre proviene a base del derrumbe mediante explosivos de impacto contra rocas de gran tamaño.

Hasta el momento se ha visto que materiales conforman el cátodo. Para la elaboración de las baterías de litio necesitamos otro componente que es el ánodo. Dicho componente es el grafito. El principal extractor de grafito del mundo es China, por detrás encontramos a India y Brasil.

Ilustración nº 9-Producción y Reservas mundiales del grafito



Fuente: (Merino, 2021)

La mayoría del grafito proviene de la extracción minera, que es procesado en fábricas metalúrgicas con el fin de poder cubrir las necesidades del mercado. Dependiendo del tipo de grafito lo podremos utilizar para un fin u otro. En el caso de las baterías de litio se precisa un grafito de un grano muy fino.

Por último, el electrolito que es el separador de las baterías que es fundamental para que las baterías de litio puedan ser recargables. Las características claves que debe de cumplir un electrolito deben ser: poder ser un buen conductor iónico, ser un aislante electrónico, resistir altas temperaturas, reducir las pérdidas de óhmicas y de un bajo coste.

Para poder cumplir estas características a lo largo de la fabricación de las baterías de litio se han utilizado distintos materiales. Los más comunes de todos son el Zirconio y el Cerio.

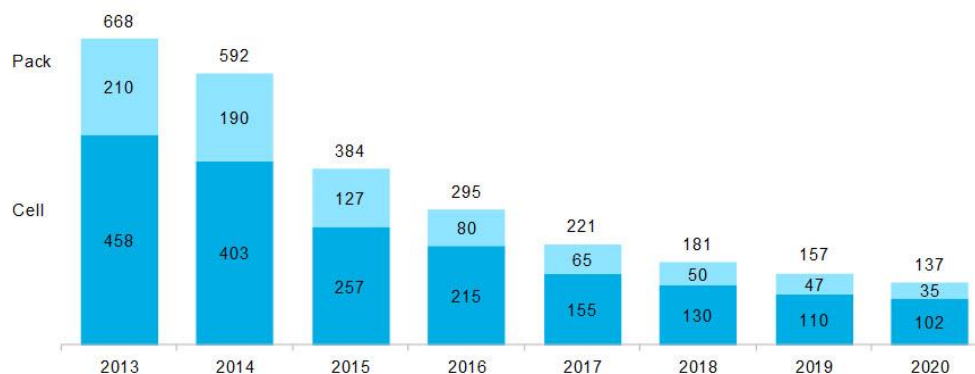
2.5. Evolución del mercado

Hasta entonces se ha visto en el trabajo de fin de grado la composición de las baterías de litio, como funcionan y las materias primas que hacen que funcionen dichas baterías. A continuación, veremos el mercado actual de las baterías de litio.

2.5.1. Evolución de precios de las baterías de litio

En las últimas décadas, el hecho de que la industria de las baterías de litio lleva ya varias décadas en crecimiento, ha provocado que los costes disminuyan debido a las economías de escala, al incremento de capacidad de las baterías y de la producción, y la competitividad, entre otros factores. Por ello, se ha visto una importante caída de los precios de las baterías de litio en las últimas décadas, llegando a apreciarse una disminución de un 89% desde 2010 hasta el 2020, según se muestra en el siguiente gráfico.

Ilustración nº 10- Volumen medio del precio/dólar de las celdas de las baterías de litio



Fuente: (BloombergNEF, BloombergNEF, 2020)

Si bien, en los últimos años, la demanda de baterías de litio ha aumentado exponencialmente, superando en creces la oferta, ligado ello al aumento de demanda del mercado de vehículos eléctricos. Este aumento supone un impacto ambiental preocupante, que requiere de políticas y acciones urgentes para no poner en peligro el medioambiente.

Pero además, también se ha visto la preocupante escasez del material primario de estas baterías, pues, las reservas mundiales, que se encuentran principalmente en China, no

son suficientes para satisfacer la demanda actual exponencialmente creciente, que continuará creciendo en las próximas décadas.

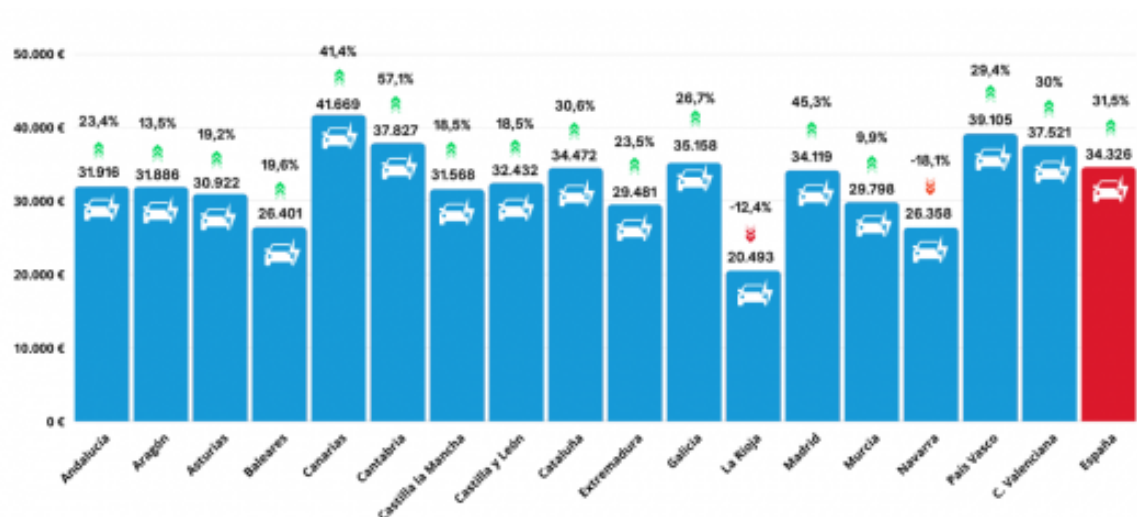
Todo ello ha supuesto una actual subida de precios de las materias primas según se ha desarrollado anteriormente, por lo tanto, este aumento, sumado al conflicto bélico actual, influye directamente sobre el coste total de las baterías, estabilizando e incluso aumentando levemente, con tendencia a continuar incrementándose.

2.5.2. Evolución de precios de los vehículos eléctricos

La repercusión en los precios de las baterías de litio puede apreciarse en el precio de los vehículos eléctricos de estos últimos dos años, ya que el encarecimiento de las materias primas y de la fabricación de las baterías de litio, está suponiendo un encarecimiento del coste de producción de los vehículos eléctricos que afectará directamente al precio final.

En España, según un estudio de mercado publicado por Ganvam, Grupo Autónomo Nacional de Vendedores de Automóviles, Camiones y Motocicletas, el precio de los vehículos eléctricos actualmente se sitúa un 31,5 % más que el año anterior, datos que dificultan la transición a este tipo de automóviles (Ganvam, 2022).

Ilustración nº 11-Precio medio de oferta de los vehículos eléctricos por CCAA a cierre del primer semestre y variación respecto 2021



Fuente: (Ganvam, 2022)

Si bien, aunque China es el país que lidera la producción y ventas de estos vehículos y consigue precios por debajo de los europeos, también se ha visto afectada por la subida de precios del litio, según expone Carlos Sánchez, director del portal movilidadeléctrica.com, el precio del coche eléctrico ha aumentado un 30 % (Vanguardia, 2022).

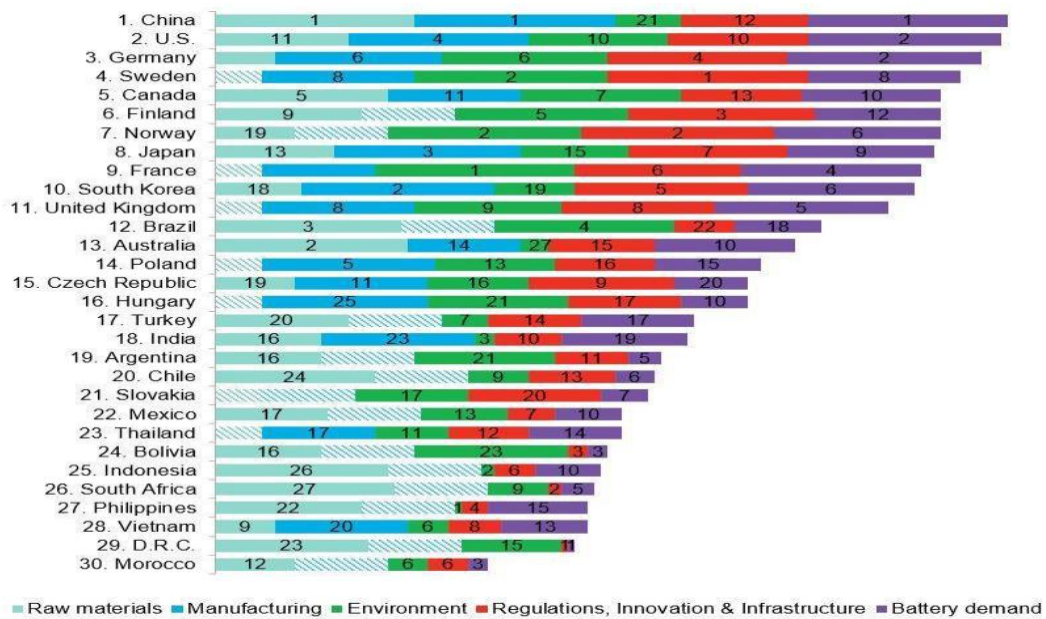
2.5.3. Comparativa por países de producción de baterías de litio

Según Bloomberg NEF, los países que lideran el ranking de productores de baterías de litio son China y Estados Unidos. La proyección de estos dos países para la producción de las baterías de litio se estima que seguirán siendo los líderes mundiales de este sector hasta 2026, por la constante inversión en este mercado tan prometedor. Asimismo, algunos países europeos también han logrado alcanzar a estos dos grandes productores.

Algunas de las empresas más destacadas de baterías de Litio en Estados Unidos son Sionix Energy, Sion Power, Ionic Materials , QuantumScape y Sila Nanotechnologies. Sin embargo, pese al desarrollo positivo del país en el sector, estas empresas que fabrican las baterías de iones de litio dependen directamente de fabricantes asiáticos, que son quienes fabrican los componentes de las baterías.

Los principales fabricantes asiáticos son Contemporary Amperex Technology (CATL) de China, LG Energy Solutions y Samsung de Corea del Sur, Panasonic de Japón, entre otras.

Ilustración nº 12-Capacidad de producción, de materias primas, demanda y oferta por países



Fuente : (BloombergNEF, BloombergNEF, 2020)

La tabla mostrada anteriormente clasifica a 30 países líderes en la cadena de suministro de baterías de litio, para llegar a esta clasificación se han tenido en cuenta 41 métricas clasificadas en 5 temas: disponibilidad y suministro de materias primas, fabricación de baterías, demanda de baterías para vehículos, consideraciones políticas y medioambientales (Roca J. A., 2021).

Respecto al sector automovilístico, el país que es líder en este sector es China, gracias a muchos factores. Por un lado, China cuenta con una infraestructura industrial que puede cubrir gran parte de la demanda a bajo coste. Por otro lado, cuenta también con las materias primas que son necesarias para la producción de las baterías, teniendo las principales reservas mundiales de dichos materiales, por lo tanto, no depende tanto de importaciones de países terceros. Por todo ello, China puede reducir el coste del producto, logrando ser de los países con mayores ventajas para producir, y más competitivos en el sector (Roca J. A., 2021).

En el segundo lugar de este sector automovilístico se encuentra Estados Unidos, gracias a Tesla que es el gran referente en el mercado del automóvil del sector de las baterías de litio.

Respecto a los países europeos, actualmente están empezando a invertir en el sector para poder cubrir la demanda futura y poder ser competitivos con los países vecinos.

3. Economía sostenible

La economía es la ciencia social que estudia los recursos, que suelen ser escasos, así como la creación de riqueza para satisfacer las necesidades humanas, necesidades relativas que pueden llegar a ser infinitas, sobre todo en sociedades desarrolladas con mayor bienestar, que exigen muchos más productos y servicios (Sevilla, 2018). Es decir, estos dos elementos tienen disponibilidades totalmente opuestas, los recursos son limitados y las necesidades infinitas.

En la actualidad, el modelo de economía más habitual es el de economía lineal. Este modelo consiste en la creación de los productos a partir de recursos naturales que son limitados, y una vez termina la vida útil del producto, la conversión de estos en residuos que terminan siendo inservibles. Es decir, no se incluye en ningún caso la reutilización de recursos.

En consecuencia, esto produce un grave problema ya que los recursos se van agotando de manera rápida con la finalidad de satisfacer las necesidades humanas, y con el tiempo cada vez es mayor el desequilibrio entre los recursos que son tan escasos, y las necesidades que van aumentando en la era consumista actual. Además, la escasez de recursos produce también graves consecuencias para el medioambiente, así como para el propio sistema económico, y la salud de la población.

Es decir, el modelo lineal no es sostenible, y por ello surge la economía circular, una economía más sostenible con el medioambiente y con la sociedad.

3.1. Historia y evolución

En la década de los 70 comenzaron a surgir pensamientos relacionados con el actual concepto de la economía circular. Concretamente, en California, John T. Lyle, un profesor de la Universidad de Pomona, desarrolló la idea de que un sistema que nazca de la agricultura podía ser regenerativo, de manera que los productos se podrían renovar sin llegar a convertirse en residuos (Lyle, 1994).

Posteriormente, fueron otros autores y economistas quienes siguieron desarrollando ideas similares. Por ejemplo, un foro principal de sostenibilidad en Estados Unidos, el Product-Life Institute de Stahel, establece cuatro objetivos: alargar la vida del producto, lograr bienes de larga duración, actividades de reacondicionamiento y la prevención de residuos (Stahel, 1978).

Por otra parte, otros investigadores relevantes, Bill McDonough y Michael Braungart, desarrollaron la filosofía del Cradle to Cradle, traducido al español, “cuna a la cuna”, que defiende que los productos que generamos puedan volver a la naturaleza de nuevo, en forma de nutrientes. Este concepto se basa en la eliminación del concepto residuo, porque puede valer para otro proceso de producción, en el aprovechamiento de energías renovables, y en la biodiversidad (Estévez, 2012).

Por lo tanto, de los problemas patentes surge la idea de la economía circular, para poder satisfacer las necesidades humanas minimizando riesgos de desabastecimiento, salud o equilibrio medioambiental en un futuro, y para optimizar los procesos tecnológicos.

En la década de los 90 fue cuando comenzó a existir de manera aparente una necesidad de cambio, dando paso al concepto de economía circular como única modalidad para alcanzar una solución a los graves problemas que arrastra la economía lineal. Actualmente en vista a la evolución de los últimos años se ve inminente promover y aplicar la economía sostenible.

3.2. Concepto

La economía circular es el ciclo de desarrollo donde se pretende que los bienes limitados del planeta mantengan y alarguen lo máximo posible su vida útil, e incluso una vez terminada su vida útil, para reducir notoriamente los problemas existentes (UE, 2022); (Canu, 2017).

Ello implica hacer un uso responsable de las materias primas, de manera que deban aprovecharse al máximo los recursos. Además, los residuos que se generen se conviertan en nuevos recursos, y aprovechando estos, reutilizando, recuperando y reciclando todos los materiales posibles, se evite o al menos minimice, la extracción de nuevos recursos.

El concepto de economía circular se opone por lo tanto al modelo económico lineal antes citado. La economía circular tiene como finalidad primordial transformar los procesos de producción en procesos respetuosos con el medio ambiente, para poder asegurar a las generaciones futuras y a cualquier especie del planeta Tierra un bienestar, disponiendo de recursos naturales y de un ecosistema habitable, por lo tanto, tiene numerosas ventajas.

Ilustración nº 13-Los pasos que dan forma a una economía circular



Fuente: (Europeo, Parlamento Europeo, 2022)

3.3. Necesidad de cambio

Hoy en día resulta inminente implementar modelos de producción de economía circular. De hecho, gran parte de las políticas de los países desarrollados tienen la finalidad de promover el crecimiento económico desde la economía sostenible.

La Organización de las Naciones Unidas, ONU, fundada el 24 de octubre de 1945 es la principal organización encargada de funciones relacionadas con el Desarrollo Sostenible y Desarrollo Medioambiental, siendo uno de los objetivos principales de la agenda 2030 (ONU, 2021).

Ilustración nº 14- Objetivos de los ODS



Fuente: (ONU, 2015)

Otras Organizaciones, como la Fundación Ellen MacArthur, el Foro Económico Mundial y la Comisión Europea, insisten en señalar la importancia de la transición hacia una economía circular, ya que no solo es fundamental para preservar el planeta, sino que además generará oportunidades económicas, creación de nuevos empleos y un ahorro en materias primas.

3.4. Dificultades

Como se ha comentado, la doctrina y pensadores actuales sí ven necesario una modificación inminente del sistema de producción actual, siendo preciso que las cadenas de producción se adapten a dichos cambios que se proponen (Europeo, Servicio de Estudios del Parlamento Europeo (EPRS), 2021).

Sin embargo, no podemos perder de vista que el cambio no es sencillo ya que se trata de romper con los hábitos actuales de los procesos productivos, de los fabricantes y de los consumidores. Por lo tanto, a pesar de la necesidad de cambio y tendencia de las empresas e instituciones a perseguir los objetivos, todavía no es realista ni alcanzable la transición al modelo de economía sostenible, ni se prevé que sea próximo el alcance en su totalidad.

Además, las empresas que tienen intención de seguir las medidas sugeridas por la Comisión Europea y otras instituciones se encuentran con dificultades administrativas y legales, como impedimentos para acceder a subvenciones públicas, con el elevado coste que supone las acciones ambientales y dificultades para acceder a financiación pública o falta de incentivación financiera pública, con dificultades para adaptarse a la extensa y compleja legislación ambiental, falta de coordinación entre los distintos países, etc. (Eurobarómetro, 2018).

4. La economía circular de las baterías de litio

Visto el concepto de economía circular y las baterías de litio, vemos que el mercado de las baterías de litio está creciendo en auge año tras año y que las materias primas cada vez son más escasas y costosas, en el paso de los años. Además, la combinación de materiales químicos que hacen posible la creación de la energía en las baterías de litio provoca que la sociedad se involucre en crear una solución para poder reducir el daño medioambiental que pueden llegar a causar en caso de ser desechadas y no tratadas con adecuado procedimiento una vez llegada su vida útil a su fin.

Juntando ambos términos podemos ver el gran futuro de mercado que puede llegar a tener este mercado en el futuro, además de ser cuantiosamente grande económicamente, puede tener gran repercusión positiva medioambientalmente.

En una economía lineal la obtención de las materias primas para la creación de las baterías de litio requiere de una extracción cada vez más agresiva para cubrir las necesidades de la producción del mercado, además de necesitar de grandes costos de infraestructura para poder extraer lo necesario. Además de ser altamente dañino para el medioambiente tanto por la destrucción de terrenos como por la emisión de gases dañinos.

Por otro lado, en una economía circular y sostenible medioambiente se busca poder reutilizar de la forma más eficaz las materias primas utilizadas para la creación de las baterías de litio optimizando el proceso tecnológico que sea menos dañino con el medioambiente.

Nos encontramos pues, en un mercado que posee todas las características para crecer a grandes rasgos. Desde la obtención de las materias primas, pasando por el proceso de fabricación y por último la reutilización de las baterías.

A lo largo de este apartado desarrollaremos la economía sostenible aplicada al mercado de las baterías de litio.

Una vez visto ambos conceptos, tanto las baterías de litio como la economía sostenible podemos juntarlos y obtener un grandioso mercado económico.

Hemos visto que las baterías de litio necesitan de materias primas como el litio, níquel, cobalto y grafito, principalmente, y estas materias primas son extraídas de zonas mineras que generan un gran impacto al medioambiente, tanto en deforestación y destrucción del ambiente como del CO2 que se emite para llegar a ellas.

Por otro lado, hemos visto que la economía circular busca una alternativa a las economías lineales de la actualidad, en las cuales los productos son de un solo uso y con este nuevo modelo de economía se busca alargar la longevidad de los productos para reducir tanto el impacto de los residuos, como aminorar el impacto que tiene la fabricación de nuevos productos.

Por lo tanto, adaptando una economía circular al mercado de las baterías de litio se consiguen innumerables ventajas, como reducir el impacto de la extracción minera en el medio ambiente, poder recuperar materias primas limitadas en el mundo, reducir la contaminación de CO2, que las veremos a continuación en desarrollo.

4.1 Políticas actuales

Actualmente, como se ha expuesto en el punto 2.5 del presente trabajo, la demanda de baterías de litio está viéndose incrementada exponencialmente a nivel mundial, y se espera que continúe multiplicándose de esta manera como mínimo durante la presente y próxima década. Desde 2020 su consumo ha aumentado en torno a un 33%, y según la International Energy Agency (IEA), su demanda se multiplicará un 43% para 2040.

En consecuencia, este aumento de la demanda requiere a su vez el mismo aumento en materias primas, por lo que resulta inminente y necesario aplicar en este sector la producción sostenible con el fin de reducir el impacto medioambiental que supone, y que sea posible continuar con la producción de dichas baterías para poder así satisfacer la demanda. Es decir, sin un reciclaje eficaz, el crecimiento futuro de esta producción peligra.

Si bien, cabe recordar que el modelo de economía sostenible aplicado a los procesos de producción continúa siendo, hoy en día, un reto para las empresas, que requiere a su vez de políticas, ayudas y regulaciones.

A partir del año 2014, la Unión Europea comenzó a plantearse presentar medidas para el desarrollo y modernización del ciclo económico. En el año 2015 estableció el Plan de Acción de Economía Circular, con 54 medidas sobre las que habría que actuar en los siguientes cinco años, enfocadas a progresar hacia la economía circular, extendiendo el tiempo de vida de los productos, optimizando la producción y reutilizando los recursos (Europea, 2015). Este plan se prevé con resultados positivos, que podrían llegar a reducir un 25% los residuos que terminan con el medio marino en el año 2030, así como reducir notablemente los gases de efecto invernadero. (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico) (Ministerio, 2022).

En diciembre del año 2020, la Comisión Europea adoptó un nuevo Plan de Acción sobre la Economía Circular, plan incluido en el Pacto Verde Europeo (European Green Deal), el nuevo programa de Europa para el crecimiento sostenible. En dicho plan, propuso un nuevo Reglamento sobre pilas, baterías y residuos, (Com 2020 798/3), (Europeo, 2020) para modernizar el marco legislativo aplicable a las pilas y baterías, derogando la Directiva 2006/66/CE y modificando el Reglamento (UE) 2019/1020.

La finalidad de dicho Reglamento, pendiente todavía de aprobación, es garantizar que las baterías que se comercialicen sean sostenibles y seguras durante toda su vida, exigiendo más requisitos de sostenibilidad, rendimiento y etiquetado. Asimismo, se establece una obligación de la industria de las baterías de llevar a cabo la debida diligencia en la cadena de valor, y objetivos mucho más estrictos para la recogida de residuos, la eficiencia del reciclaje y la recuperación de materiales.

Respecto a la propuesta, los eurodiputados coinciden en que dichas medidas son necesarias para la transición a la economía circular, y una de las ponentes, Simona Bonafè (S&D, Italia), declaró lo siguiente:

«Por primera vez en la legislación europea, el Reglamento sobre baterías y pilas establece normas que regulan todo el ciclo de vida del producto, desde la fase de

diseño hasta el final de su vida útil. Esto impulsa la circularidad de las baterías e introduce nuevos estándares de sostenibilidad que deberán convertirse en una referencia en el mercado mundial. Las baterías son clave para fomentar la movilidad sostenible y para almacenar energía renovable. Finalmente, para alcanzar los objetivos del Pacto Verde Europeo y atraer inversiones, los legisladores deben adoptar rápidamente normas y plazos claros y ambiciosos»(Parlamento Europeo, 2022).

Ilustración nº 15-Normativa de la UE para industria de las baterías

NORMATIVA DE LA UE PARA LA INDUSTRIA DE LAS BATERÍAS



Fuente: (Cicenergygune, 2021)

4.2. Formas de reciclaje

Las baterías de litio si no son bien tratadas generan emisiones dañinas para el medio ambiente de forma de residuos o gases. Es por eso que, la forma del reciclaje de este sector es vital para el ecosistema.

El crecimiento de las baterías de litio esta en un crecimiento exponencial, que si sigue así se calcula que el mercado automovilístico utilizará el 90% de las baterías de litio (Condorchem, 2022).

El crecimiento de los coches eléctricos hace que aumente la demanda de las baterías de litio y también la importancia de buscar alternativas de poder reciclar las baterías. Cada vez se acumulan más desechos contaminantes y se reducen las materias primas.

Por el momento, existen distintos métodos de reciclaje de las baterías de litio, y cada uno de ellos posee una ventaja y desventaja. No se ha comprobado aún cual es el método mas eficiente y rentable de reciclaje, ya que existen métodos que consiguen reciclar el 90%-95% de las materias primas pero el proceso es muy costoso por la energía que hace falta.

En el Trabajo de Fin de Grado veremos los dos métodos más utilizados por las empresas lideres del sector. Estos métodos son los de hidrometalurgia y piro metalurgia.

4.2.1. Método de Hidrometalurgia

Este método es el mas utilizado en la industria del reciclaje de las baterías de litio. Mediante la hidrometalurgia se puede recuperar gran parte del litio en buen estado. Este proceso tiene distintas fases a lo largo de la cadena de reciclaje.

El primer paso consiste el desmontaje, seguido del proceso de lixiviación y por último, la recuperación de los materiales.

El proceso de lixiviación consiste en la aplicación de ácidos y disolventes químicos que consiguen separar las materias de las baterías. Este proceso de aplicación de disolventes produce que no podamos reciclar el 100% de los componentes de las baterías, pero requiere menos energía que otros procesos.

4.2.1. Método de Pirometalurgia

Este método consiste en reducir y recuperar los materiales de las baterías mediante procesos de fundición y calcinación.

Calcinación

La calcinación consiste en juntar reacciones gas-sólido a altas temperaturas. El primer paso, se tratan los materiales previamente para separar el cátodo. Una vez separado el cátodo de la batería, se calienta el material sobrante para obtener un residuo, que sometido a un proceso de carbotermiación se separa el cobalto y el litio.

Fundición

El otro método es el de fundición, trata de elevar la temperatura de las baterías de litio, hasta llegar al punto de fusión de los materiales y obtener una fase líquida que dará lugar a clasificación de las distintas capas mediante inmiscibles. Mediante este proceso se pierden materiales como el aluminio y parte del cobalto.

El punto a favor de este proceso es que no hace falta separar previamente las baterías en distintas categorías. Este proceso de fundición es mejor en producciones a gran escala por el ahorro de costes.

4.3 Mercado de las baterías recicladas

4.3.1. Problemas actuales

Pese a los planes citados y otras muchas políticas promovidas en los Estados Miembros, así como la aparente tendencia a desarrollar el vehículo eléctrico, Europa todavía escasea de empresas dedicadas a la actividad de extracción de materiales estratégicos en las baterías.

De hecho, resulta llamativo el nivel tan bajo de reciclaje de baterías de litio, que, pese a la escasez de datos estadísticos sobre el porcentaje actual de reciclaje, según el Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile es inferior a un 5%. Dicho porcentaje es alarmante por las razones expuestas a lo largo del presente trabajo de investigación, si bien, debemos atender también a la comparativa con el plomo, que se recicla hasta un 98 % del mismo desde hace años, así como a los antecedentes preocupantes del cobre, donde se pasó de tener abundantes cantidades a escasear del mismo.

Actualmente, el problema que se plantea es que el reciclaje de las baterías de litio es complejo, con implicación de numerosas políticas ambientales, y con costes muy elevados.

De hecho, algunos países como Chile entienden tan sumamente complejo el proceso de reciclaje y reutilización de las pilas que durante tiempo decidían enterrarlas en determinados depósitos. Si bien, la Universidad Autónoma de Chile pretende establecer un proceso piloto que permita rescatar minerales de las propias baterías para tratar de involucrarse en el proyecto presente de solucionar los problemas graves que se plantean en un futuro si no se actúa con urgencia.

Sin embargo, pese a su complejidad, en las últimas décadas se han estudiado diversos procesos detallados en el apartado 4.2 y se han desarrollado numerosas empresas mundiales dedicadas a esta actividad.

4.3.2. Empresas del sector

Actualmente, ya existen alrededor de 100 empresas que reciclan baterías de litio o que se plantean hacerlo próximamente, según Circular Energy Storage, consultora dedicada a la recopilación y análisis continuos de datos de todas las partes de la cadena de valor a nivel mundial, que constituye la fuente principal de información independiente sobre el mercado del final de la vida útil de las baterías de litio (Energy, 2022).

La mayor industria de este sector se encuentra en China y en Corea del Sur, países donde se fabrican la mayoría de las baterías, pues China llegó a producir en 2018 1,27 millones de vehículos, suponiendo esta cifra un aumento de un 59% respecto del año anterior, y liderando con ello el crecimiento de producción del vehículo eléctrico.

Si bien, cada vez hay más empresas mundiales desarrollándose en Europa y en América del Norte, dada la necesidad, y probablemente la rentabilidad de la industria de reciclaje de baterías.



Fuente: (Cicenergigune, 2022)

4.3.2.1. American Battery Technology Company (ABTC)

En Estados Unidos, se encuentra la empresa American Battery Technology Company (ABTC), una empresa pionera en tecnología avanzada de reciclaje de baterías de iones de litio y en extracción de metales de las baterías primarias, utilizando su propia tecnología patentada y desarrollada internamente desde su empresa, para producir los metales a un coste menor con menor impacto ambiental que las baterías convencionales. ABTC tiene previsto lograr una planta de reciclaje en el presente año 2022, con 20.000 toneladas métricas de material reciclable cada año, cifra muy elevada que supondría en caso de alcanzar los resultados esperados una quinta parte de las toneladas recicladas en el año 2021 (Technology, 2022).

4.3.2.2. Compañía líder en América Li-Cycle

Li-Cycle es la empresa líder de este mercado de recuperación de litio, es una empresa canadiense, con su sede en Canadá, que está creciendo a pasos desorbitados, expandiéndose al país vecino, Estados Unidos, y con previsión de expandirse hacia Europa y Asia, todo ello con el fin de continuar con su crecimiento mundial. De hecho, la empresa cotiza en la Bolsa de Nueva York.

La empresa ha centrado toda su actividad en el reciclado de las baterías de litio, siendo su modelo de negocio el enfoque exclusivo en esta actividad, modelo que tanto éxito está teniendo.

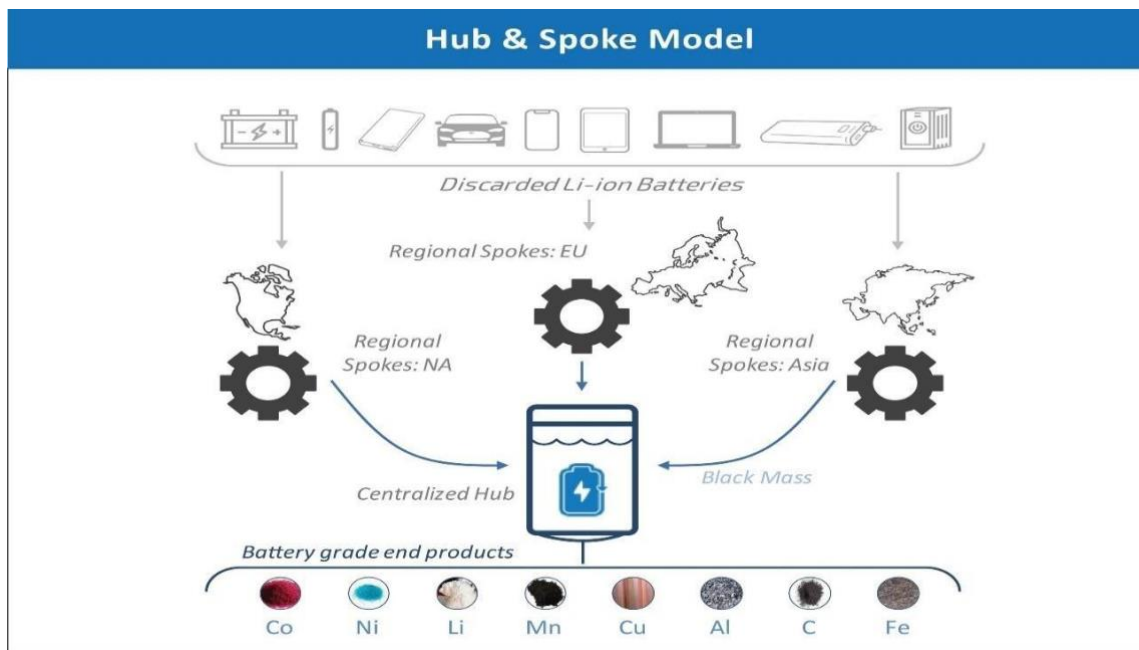
Para ello, Li-Cycle utiliza un método especial para recuperar lo máximo posible de cada batería, y según los últimos datos la empresa canadiense es capaz de reciclar entre un 80% y un 100% de las baterías usadas, y normalmente entorno a un 95% de sus componentes, algo muy novedoso en el mercado, y sobre todo, cifras muy positivas para el sector y el objetivo que se pretende conseguir (Li-Cycle, 2022).

Por ello, la empresa dispone de una importante cartera de propiedad intelectual, así como numerosos contratos firmados con varios fabricantes de baterías y de automóviles.

El método de reciclaje que caracteriza a Li-Cycle y con el que se obtienen tan buenos resultados es mediante los procesos mecánico y químicos, utilizando un proceso hidrometalúrgico, el cual consiste en extraer la materia prima que nos interese desde una solución acuosa que actúa como agente de disolución (Gutiérrez, 2020).

Lo peculiar de este método de reciclaje es que es capaz de hacerlo sin hacer distinción en el tipo de ánodo y cátodo, (ya que como hemos comentado anteriormente, dependiendo el uso que se le vaya a dar a la batería utilizará una materia prima distinta). Como se ha dicho anteriormente, con este método se consigue un gran éxito de reciclaje, y, además se consigue que se minimicen los riesgos de fuga en el proceso (Gutiérrez, 2020).

Ilustración nº 17-Modelo de reciclaje de Li-Cycle



Fuente: (Fanjul, 2021)

El proceso por el que Li-Cycle tiene tanto éxito es el llamado *Spoke&Hub*, la cual es una tecnología que utiliza la combinación de proceso mecánico y recuperación de los materiales mediante el proceso hidrometalúrgico.

Los Spokes son centros de recolección y preprocesado para las baterías que ya han llegado al final de su vida útil, en los cuales se trituran todas las baterías obteniendo la llamada masa negra. Además, utilizan un sistema semiautomatizado para separar los componentes, para reciclarlo directamente. Los Spokes se encuentran en zonas cercanas a las fábricas de vehículos y de baterías, para cubrir la mayor demanda de baterías sin vida útil (Fanjul, 2021).

La masa negra, es la materia más importante de este reciclaje, por lo que es transportada un centro llamado *Hub*, en el dicho centro aplican el proceso hidrometalúrgico que trata la masa negra sin aplicar temperaturas, se le aplica ácidos y disolventes para poder recuperar la mayor parte de la materia prima que compone la masa negra.

Cabe destacar que anteriormente, para recuperar los componentes de la masa negra, se le aplicaba altas temperaturas en hornos industriales para poder separar la materia, pero este proceso desperdiciaba parte de la materia prima de la masa negra (Fanjul, 2021).

El inconveniente de este proceso hidrometalúrgico es que al aplicar el método de lixiviación (ácidos y disolventes) este proceso consume energía eléctrica y genera agua residual. La ventaja es que el agua puede volver a ser tratada y la energía puede ser energía renovable, pero todos estos procesos encarecen aún más las baterías recicladas por lo que pierden competencia con las baterías de primer uso.

En conclusión, Li-Cycle es la empresa líder de este sector, teniendo el método más rentable a la hora del aprovechamiento de la materia prima y también a la hora del impacto ecológico. Además, se prevé que continúe su expansión alcanzando en el 2024 una capacidad de hasta 25.000 toneladas de litio recuperado al año.

4.3.2.3. Compañía líder europea Northvolt

Otra importante empresa del sector es Northvolt, con sede en Estocolmo, que actualmente está construyendo una planta de reciclado de baterías de vehículos eléctricos junto a las empresas Hydro y Redwood Materials, empresa que tiene un alcance más amplio de reciclado de desechos electrónicos. Northvolt pretende que la planta de reciclaje tenga capacidad para reciclar 25.000 toneladas de baterías al año (Northvolt, 2022).

4.3.2.4. Otras iniciativas y empresas europeas

Por otra parte, nos encontramos con empresas como Solvay y Veolia, que se unieron en 2020 para establecer una planta de demostración para el reciclaje de los materiales de las baterías, y que, posteriormente, dicha unión se vio reforzada con el Grupo Renault. Esta asociación parece muy competitiva, por la experiencia que tiene Solvay en la extracción química de los metales de las baterías, la experiencia de Veolia en el reciclaje de las baterías de litio mediante proceso hidrometalúrgico, y la experiencia de Renault en el ciclo de vida de las baterías de los vehículos eléctricos.

La asociación ya ha comenzado a experimentar para poder alcanzar su objetivo de crear una planta de demostración de reciclaje en Francia, que permita extraer y purificar los distintos metales de las baterías al final de su vida útil.

En Centroeuropa, tenemos entre otras a la empresa Volkswagen, que se ha iniciado en el mercado del reciclaje de baterías de litio abriendo una planta piloto en Salzgitter (Alemania), y a la empresa polaca Elemental Holding, que recientemente anunció una inversión de 182 millones de euros destinados exclusivamente a una instalación para el tratamiento de baterías y otros metales que contienen residuos (Cicenergygune, 2021).

En España, también se ha anunciado la primera instalación de una planta de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos, que se realizará en León, en Cubillos del Sil, y en principio estará lista en el año 2023. Las empresas que llevarán a cabo dicho proyecto son Endesa y Urbaser, contando con una inversión de 13 millones de euros, y prometen tener capacidad para 8.000 toneladas de baterías al año (Redondo, 2021).

Ilustración nº 18-Número de fábricas de baterías en Europa



Fuente: (Primobius, 2021)

En resumen, todas estas iniciativas tienen el objetivo de progresar en el reciclaje de baterías, romper con los modelos tradicionales de quemarlas para recuperar sólo unos pocos metales de estas, o romperlas para tratar la masa negra que resulte con algunos disolventes. Ahora, las empresas pretenden limpiar y terminar con el proceso anterior ineficiente y sucio.

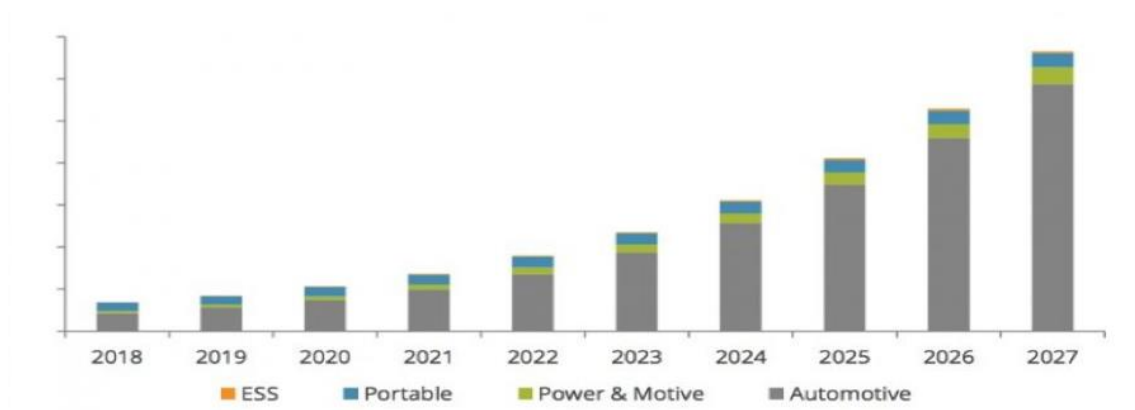
4.3 Perspectivas de futuro del mercado

El mercado de las baterías de litio recicladas se prevé que continúe evolucionando positivamente, según se ha expuesto en apartados anteriores, pues se ha visto que el reciclaje es la única solución para que sea sostenible el crecimiento de este mercado desde el punto de vista ambiental y económico.

Si bien, este crecimiento va a depender en gran medida de la evolución de la demanda de los coches eléctricos impulsados con baterías de litio, ya que es esta la fuente principal de crecimiento de este mercado. Pues, gracias a estas baterías, se espera que nos acerquemos a la transición energética con una descarbonización del transporte.

En los próximos años está previsto un aumento de la demanda de los vehículos para su aplicación en los automóviles eléctricos, según se refleja en el siguiente gráfico. (Inelectronic, 2022)

Ilustración nº 19-Demanda por sectores de la batería de litio



Fuente: (Inelectronic, 2022)

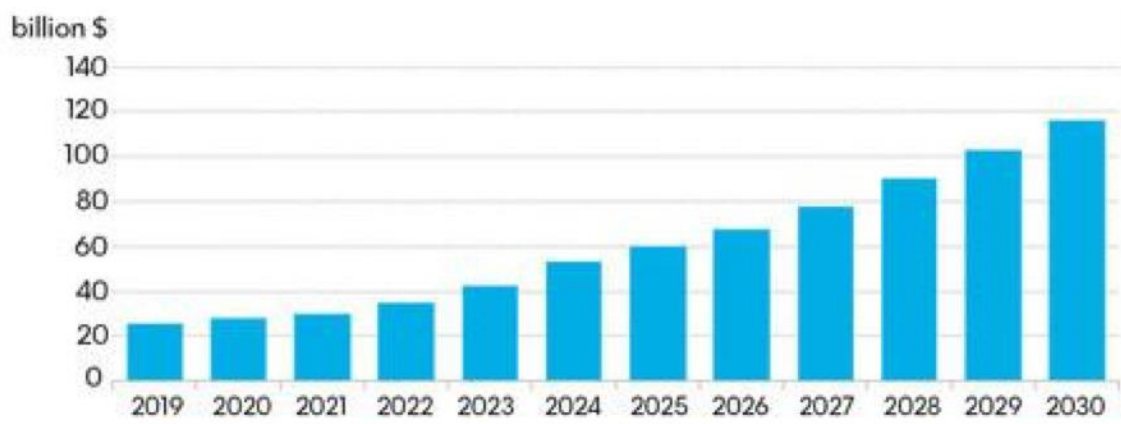
Pese a la tendencia de la demanda, actualmente todavía no se ha encontrado una tecnología líder para los coches eléctricos, por lo que existen baterías de distintos componentes.

Las más utilizadas hasta ahora son las baterías de litio, que controlan el 90% del mercado mundial, alcanzando muy buenos resultados en la energía almacenada y precios asequibles, y siendo su aplicación más habitual para vehículos eléctricos. De hecho, las ventas de los coches eléctricos que usan baterías de litio ascendieron a 6,6 millones de

coches en 2021 y este año solo en el primer trimestre ya superan los 2 millones de coches vendidos.

Según la evolución y previsiones del mercado de las baterías de litio y de los vehículos eléctricos desarrolladas en el punto 2.5., y teniendo en cuenta que son limitadas las materias primas que hacen falta para su fabricación, el sector del reciclado de las baterías de litio aumentará en proporción a la demanda de estas.

Ilustración nº20- Mercado anual de las baterías de litio en billones de dólares



Fuente: (Fernández, 2022)

Si bien, los estudios dicen que, si se mantiene el ritmo de fabricación de las baterías de litio, en el año 2040 se acabará el litio y no se podrá reciclar más de este material a partir de 2100, datos realmente alarmantes para este mercado. Pues existen algunas desventajas en el reciclaje de las baterías de litio, como la dependencia de otro mercado, los costes que conlleva los mecanismos de reciclaje, y la capacidad y eficiencia de la tecnología de reciclaje, todas ellas desarrolladas en el punto 5.2. del presente trabajo, que dificultan la viabilidad plena del mercado en un futuro que logre satisfacer la demanda.

Por ello, recientemente ha comenzado a investigarse sobre nuevas técnicas que puedan sustituir al litio, ya que la demanda de baterías va a continuar creciendo debido concretamente al vehículo eléctrico, entre otros usos, según estudios de la Agencia Internacional de la Energía. Este organismo prevé que la demanda de baterías aplicada a los coches eléctricos supere los 3.000 GWh en el año 2030, 40 veces más que la demanda del año 2019 (80 GWh), e incluso alcance los 9.000 GWh en 2040. (Cicenergigune, 2022)

Por lo tanto, debido al crecimiento de demanda de energía y a las complejidades que se esperan en la industria de las baterías de litio y su reciclaje, hacen necesario el estudio de nuevas baterías.

Actualmente ya existen otras alternativas de baterías para la fabricación de vehículos, y por ejemplo, fabricantes como Toyota han apostado por baterías de hidrógeno para sus coches. También existen hasta ahora investigaciones que intentan sustituir las baterías de litio como las de hidrógeno o las de sodio, para poder satisfacer el exceso de demanda, complementar las tecnologías existentes en la actualidad, y buscar soluciones similares a las que proporcionan las baterías de litio, para no depender exclusivamente del litio.

Por estos motivos, el mercado futuro tanto de las baterías como el reciclaje de las baterías de litio puede verse amenazado con nuevas baterías que le superen en rendimiento.

Baterías de sodio

Las baterías de sodio están causando grandes avances en sus investigaciones, y es una de las principales alternativas actualmente, pero todavía no se ha llegado a desarrollarse a nivel industrial. Consultoras como Deloitte prevén un incremento de la demanda de baterías de sodio de más de un 671% para el año 2025.

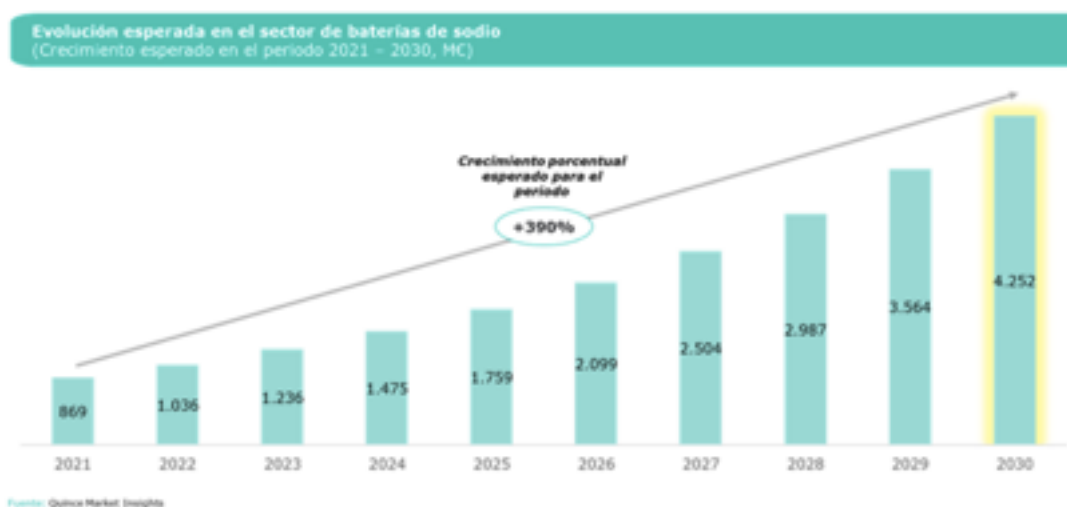
Las baterías de sodio tienen grandes ventajas como la posibilidad de realizar cargas rápidas, una mayor sostenibilidad y un coste menor debido a que el sodio es muy abundante en el planeta tierra. Sin embargo, todavía siguen estudiándose mejoras en cuanto a la densidad energética de las baterías, para mejorar su rendimiento, pues, por el momento las de litio tienen mayor autonomía, por ejemplo, las de litio cuentan con una densidad media de 250 Wh/kg frente a las de sodio que tienen una capacidad de 160 Wh/kg.

La empresa CATL, proveedor principal de Tesla de baterías, ya ha presentado una primera propuesta de baterías de sodio, con la finalidad de industrializarlas en el próximo año 2023. La aplicación de dichas baterías sería en gran medida para estacionamiento de energía, ya que todavía las de litio siguen siendo más adecuadas para la aplicación en los vehículos eléctricos por la desventaja de la densidad energética mencionada

anteriormente. Por el momento, hasta que no se encuentre una buena tecnología que mejore las cualidades de las baterías de sodio no se podrán sustituir a las de litio.

La perspectiva de crecimiento de las baterías de sodio es de un 390% para 2030. Un crecimiento que dependerá de la evolución de las tecnologías aplicadas a estas fuentes de energía renovable, el mercado de las baterías de sodio puede superar los 4.000 millones de euros.

Ilustración nº 21- Evolución del sector de las baterías de sodio en los próximos años



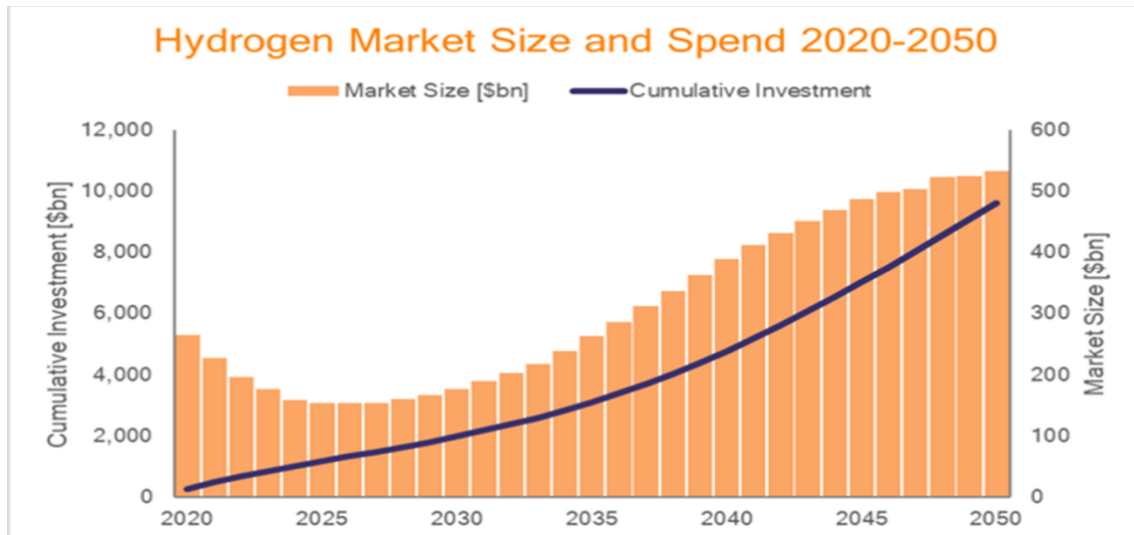
Fuente: (Cicenergigune, 2022)

Baterías de hidrogeno

Las pilas de hidrogeno estando mucho más avanzadas tecnológicamente que las baterías de sodio, siguen siendo muy inferior a las de litio. Sigue siendo un mercado muy prematuro en el que existen dudas a la hora de producir y fabricar. Las pilas de hidrógeno poseen una ventaja muy competitiva frente a las dos baterías anteriores, y es que el hidrógeno es la materia prima más abundante del planeta tierra, pero existe en distintas formas. La forma más barata de tener hidrógeno viene del gas subterráneo, pero no es un hidrógeno verde, por otro lado el hidrógeno más abundante del mundo está en el agua, por el momento, extraer hidrógeno del agua consiste un rompecabezas para la industria ya que se necesita una alta tecnología para poder separar las partículas de agua para extraer el hidrogeno, y para poder conseguir esa separación molecular se necesita una gran cantidad de energía que hace que encarezca el coste del hidrógeno.

Pero no todo son desventajas de estas pilas frente a las baterías de litio y sodio. Las pilas de hidrógeno poseen una ventaja muy valiosa y es que las otras baterías que funcionan con electricidad pierden la energía a lo largo de su suministro y su almacenamiento, lo que supone un gasto muy grande y repercute en su coste. En cambio, el hidrogeno es mas fácil de almacenar y no se pierde a lo largo de la cadena de suministro.

Ilustración nº 22 - Tamaño del mercado y gasto en inversión para los futuros años. 2020 y 2050.

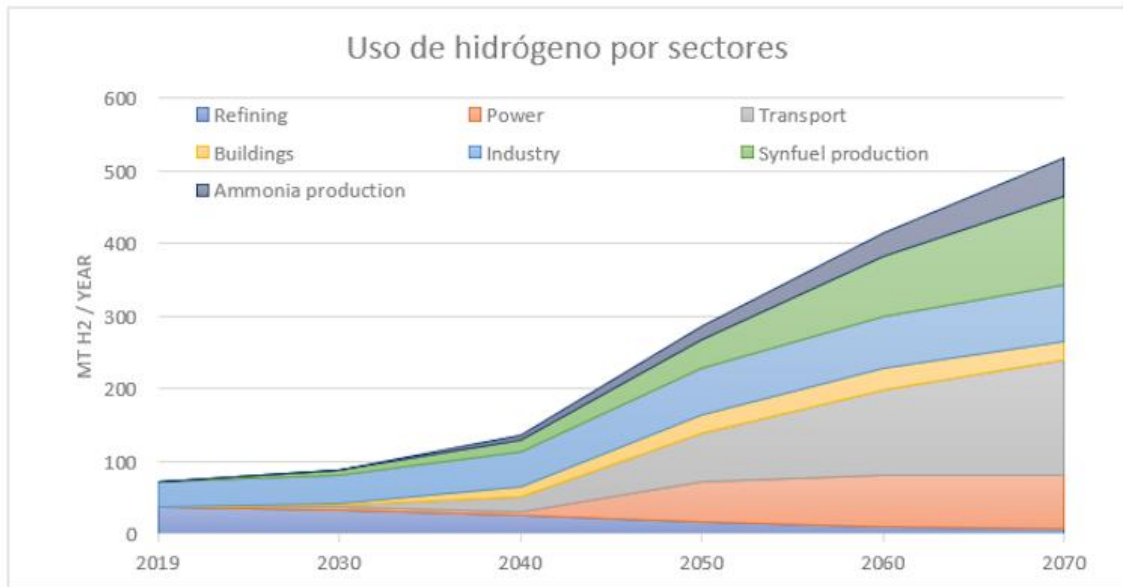


Fuente: (Noya, 2022)

La demanda del hidrógeno en los siguientes años dependerá de como se desarrolle en gran medida la industria, sobre todo de los mercados automovilísticos y la capacidad de almacenamiento para poder ser rentable. Además, dependerá sobretodo de donde provenga el hidrogeno, como hemos dicho anteriormente la demanda mundial pasará de como evoluciones la industria de hidrógeno verde. La alcanzar las demandas futuras la UE invertirá ente 6.000 y 15.000 millones de euros para 2050 para investigar en rentabilizar el hidrógeno verde.

Es por ello por lo que uno de los mayores fabricantes automovilísticos del mundo, Toyota, ha decidido apostar por la fabricación de sus automóviles impulsados con las pilas de hidrógeno, frente a los fabricantes como Tesla, Volkswagen, Mercedes-Benz o BMW que han apostado por los coches eléctricos fabricados con las baterías de litio.

Ilustración nº 23 - Uso por sectores del hidrógeno



Fuente: (Kirch, 2020)

España junto a otros países como Francia y Portugal, están a la carrera de investigación de la obtención de hidrógeno verde. La proyección que tiene España para 2050 es incrementar notablemente las instalaciones eólicas y solares. Por lo tanto, provocará una disminución notable de la electricidad y eso conllevará una reducción del coste del hidrógeno verde.

5. Ventajas y desventajas de la economía circular en este sector

Como todos los mercados económicos tiene puntos a favor y otros en contra, si bien, para entender viable este nuevo modelo económico las ventajas deben superar con creces las desventajas.

5.1. Ventajas

5.1.1. Reutilización de los materiales

Sin duda, uno de los puntos más importantes de todo el aspecto de ventajas. Las baterías actuales están compuestas por materias primas muy preciadas y sobre todo limitadas. La reutilización de los materiales reduce el impacto en el medio ambiente de forma que cada vez hace falta menos materias primas obtenida de la tierra y toma mas importancia la reutilización.

Esta disminución reduce el impacto medio ambiental en el ecosistema, reduciendo notablemente las emisiones de CO2 procedentes de la explotación minera.

Las pilas y acumuladores son una valiosa fuente de materias primas secundarias por su contenido en metales como el níquel, el cobalto o la plata. El correcto tratamiento de estos metales evita peligrosos vertidos al medio ambiente y posibilita la reutilización de muchos de ellos. Mercurio, zinc, cadmio, litio o plomo son otros metales nocivos utilizados en diferentes tipos de pilas y baterías.

5.1.2. Evitar vertidos peligrosos

Las materias primas de las baterías son altamente contaminantes para el medio ambiente si no se tratan correctamente. Reutilizando los componentes se evitan vertidos peligrosos para el medio ambiente, que pueden llegar a ser mortales para grandes especies de seres vivos.

La reutilización correcta de estos materiales provoca un efecto muy positivo, evitando contaminaciones en el medio ambiente, como por ejemplo, contaminantes en aguas subterráneas y superficiales.

5.1.3. Creación de empleo

La creación de empleo es uno de los puntos mas importantes que introduce la economía circular y mas impacto que tiene en nuestras vidas. Con la creación de este nuevo sector del reciclaje de las baterías de litio surgen nuevas empresas y nuevos puestos de trabajo, que repercuten en la economía nacional y mundial.

Según investigadores, el nuevo sector de la reutilización de las materias primas de las baterías de litio genera entre 5 y 7 veces más cargos que el método de incineración de los desechos de las baterías y 10 veces más que el vertido de los desechos en el vertedero.

Las plantas de tratamientos de residuos tóxicos como las baterías de litio crean empleo a lo largo de su línea de producción.

5.1.4. Reducción de costes

A gran escala, el reciclaje de las baterías de litio, reduce los costes frente a la obtención de las materias primas mediante las explotaciones mineras. Por el momento, la capacidad recicladora actuales no pueden igualar los costes de producir una batería reciclada frente a una batería de materiales de primer uso.

Cuando se introduzcan instrumentos y facilidades para que surja una economía a gran escala, este podrá impulsar la economía circular de las baterías de litio.

5.2. Desventajas

5.2.1. Dependencia

El mercado del reciclaje de las baterías de litio está directamente relacionado con la demanda del sector de las baterías de litio y en gran parte de la industria automovilística

de los vehículos eléctricos. Una gran dependencia de un sector con otro, debilita a la industria y crea inseguridades de cara a los inversionistas. Por lo tanto, como hemos comentado anteriormente en el punto “4.3. Perspectivas de futuros” este sector puede sufrir cambios drásticos si se encuentran baterías más eficientes que las baterías de litio, por ejemplo, una posible sustitución de las baterías de litio por las de sodio e hidrógeno. Aunque sigue predominando el litio, puede que nuevas fuentes de almacenamiento la sustituyan y lleven a este sector a una desaparición

No obstante, para las aplicaciones de las baterías de litio sigue sin haber investigaciones que intenten sustituir las baterías de litio, como la industria tecnológica, que está demostrado que sigue siendo muy eficiente las baterías de litio y no se prevé una bajada de la demanda.

5.2.2. Costes del Reciclaje

En el punto “5.1.4. Reducción de costes” se ha explicado que en una economía a gran escala, el coste de reciclar a el de extraer es más eficiente, pero actualmente, la oferta y demanda de las baterías recicladas sigue siendo muy inferior respecto al de extracción, lo que provoca que la producción de las baterías recicladas frente las extraídas de las explotaciones minera sigan siendo más caras, por lo tanto, sigue predominando baterías de primer uso frente a las recicladas.

Estos motivos se deben a que la industria minera ya está madura y permite una economía mucho más eficiente que el reciclaje, que por el momento, no está en todos los países y provoca que sea más complejo.

5.2.3. Capacidad y Eficiencia

Por el momento no existe ninguna tecnología capaz de reciclar el 100% de las baterías de litio, lo que provoca que se pierdan materias primas muy valiosas. Empresas como Li-Cycle, “4.3.2.2. Li-Cycle” con un alto grado de I+D pueden llegar a reciclar el 90%-95% de las baterías cuando están en muy buenas condiciones, además de eso, para conseguir el

reciclaje de las baterías se necesita de gran cantidad de electricidad, y por el momento ninguna fabrica utiliza energía verde para poder ser procesada porque es insuficiente.

Por otro lado, las materias primas recicladas de las baterías de litio no consiguen ser igual de eficientes que las materias vírgenes extraídas de las explotaciones mineras, lo que provoca que las baterías recicladas son menos efectivas que las tradicionales.

6. Conclusiones

Después de haber realizado el Trabajo Fin de Grado hemos podido llegar a ver los objetivos que nos marcamos al principio del trabajo. Yendo en orden del índice, hemos visto que las baterías de litio son un bien que esta en aumento de la demanda por los distintos sectores, en especial, el sector automovilístico. Además, se ha expuesto como las baterías de litio son un bien tan necesario para la sociedad de hoy en día que si no se realiza una economía circular en este sector no se podrá cubrir la demanda en los siguientes años y habrá una escasez de materias primas como una gran cantidad de residuos perjudiciales para el planeta.

Una vez realizado un breve resumen del Trabajo Fin de Grado podemos sacar varias conclusiones interesantes.

La primera de ellas sigue en la línea de lo dicho anteriormente y es que si no se incorpora una forma sostenible de producción de las baterías de litio al mercado nos encontraremos en un punto que no podremos cubrir una demanda y además de reducir el impacto medioambiental. Por lo tanto, podemos decir, que una introducción de una economía sostenible en este sector tiene mas ventajas que desventajas.

Por otro lado, centrándonos en el sector automovilístico, que es uno de los mayores consumidores de baterías de litio, podemos sacar varias conclusiones de este apartado. Y es que muchos de los gobiernos y multinacionales están a la carrera para sustituir los motores convencionales a combustión por los vehículos impulsados por motores eléctricos. Según mi opinión y después de haber investigado al respecto, puede existir un hibrido entre ambos motores, como ya existe actualmente con los vehículos híbridos.

Por último, viendo todos los datos del Trabajo de Fin de Grado podemos sacar la conclusión de que el mercado del reciclaje de las baterías de litio tiene un camino muy prometedor y un largo recorrido en las economías nacionales y mundiales, además de los beneficios dichos anteriormente.

Bibliografía

- Acciona. (2022). *Acciona*. Retrieved from https://www.acciona.com/es/?gclid=CjwKCAjwpKyYBhB7EiwAU2Hn2e05tsaRB9nczoul0yu7k6ptAupMkhzXKTRJquJl-HSjKBvHfYtbPhoClJoQAvD_BwE&_adin=02021864894
- BloombergNEF. (2020). *BloombergNEF*.
- BloombergNEF. (2020). *BloombergNEF*. Retrieved from <https://www.technosun.com/es/blog/precio-baterias-ion-litio-bajan-89-por-ciento-desde-2010/>
- Cicenergigune. (2022). Retrieved from <https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-sodio-complemento-perfecto-sostenible-baterias-iones-litio>
- Fernández, S. (2022). *Xataka*. Retrieved from Xataka: <https://www.xataka.com/vehiculos/espana-esta-perdiendo-tren-fabricacion-baterias-a-pesar-fuerza-coches-ue-nos-deja-fuera-programa>
- Ganvam. (2022). *Ganvam*. Retrieved from <https://ganvam.es/ganvam/>
- Inelectronic. (2022). Retrieved from <http://inelectronic.com/uso-de-las-baterias-de-litio/>
- Kirch, A. (2020). *The Conversation*. Retrieved from <https://theconversation.com/la-hoja-de-ruta-del-hidrogeno-en-espana-podemos-cumplir-los-objetivos-150469>
- Noya, C. (2022). *Coches Electricos*. Retrieved from <https://forococheselectricos.com/2022/01/hidrogeno-verde-sera-mas-barato-en-solo-dos-anos.html>
- Primobius. (2021). *Primobius*. Retrieved from <https://www.primobius.com/>, s.f.) (N/A, <https://tekdeeps.com/the-boom-of-battery-recycling-plants-in-europe-dances-to-the-sound-of-the-electric-car/>)
- Vanguardia, L. (2022). *La Vanguardia*. Retrieved from <https://www.lavanguardia.com/economia/20220410/8190034/baterias-litio-coches-electricos.html>
- Canu, M. E. (2017). *Economía Circular y Sostenibilidad*. Obtenido de https://wolfypablo.com/documentacion/documentos/2017-10/710%20Economia_circular_y_sostenibilidad.pdf

- Estevez. (2012). *TFG Economía Circular*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/357249/TFG%20Estudio%20de%20la%20Econom%C3%ADa%20Circular%20en%20entornos%20productivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Europeo, P. (2021). *Servicio de Estudios del Parlamento Europeo (EPRS)*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/at-your-service/es/stay-informed/research-and-analysis>
- Europeo, P. (21 de 04 de 2022). *Parlamento Europeo*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Fanjul, X. A. (13 de 11 de 2021). *Cinco Días*. Obtenido de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2021/11/12/opinion/1636713268_988917.html
- Fernández, R. (21 de 06 de 2022). *Statista*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/600308/paises-lideres-en-la-produccion-de-litio-a-nivel-mundial/#:~:text=Pa%C3%ADses%20l%C3%ADderes%20en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20litio%20a%20nivel%20mundial%202021&text=En%202021%2C%20Australia%20fue%20el,y%2014>.
- García, G. (10 de 10 de 2019). *Híbridos eléctricos*. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/baterias-iones-litio-premio-nobel-quimica-2019/20191010114619030714.html>
- Gutiérrez, D. (25 de 03 de 2020). *Híbridos y Eléctricos*. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/li-cycle-consigue-reciclar-80-100-ciento-materias-primas-baterias-iones-litio/20200325131858034094.html>
- H, D. (2018). *Perfil de Mercado del Litio*. Obtenido de Dirección General de Desarrollo Minero: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419275/Perfil_Litio_2018__T_.pdf
- Li-Cycle. (2021). *Cision PR Newswire*. Obtenido de Cision PR Newswire: <https://www.prnewswire.com/news-releases/li-cycle-selects-rochester-ny-as-site-for-lithium-ion-battery-recycling-hub-301136518.html>
- LME. (13 de 06 de 2022). *LME Exchange*. Obtenido de <https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/LME-Nickel#Price+graphs>

- LME HNX Company. (08 de 06 de 2022). Obtenido de <https://www.lme.com/Metals/EV/LME-Cobalt#Trading+day+summary>
- Lyle, J. (1994). *Economía Circular*. Obtenido de Economía Circular: <file:///C:/Users/ricardo.giner/Downloads/Dialnet-EconomiaCircularComoMarcoParaElEcodiseno-4881026.pdf>
- Martín, M. R. (03 de 04 de 2022). *Libre Mercado*. Obtenido de LibreMercado: <https://www.libremercado.com/2022-04-03/litio-la-fiebre-del-oro-blanco-sigue-sin-llegar-a-espana-6882536/>
- Matín, P. (24 de 02 de 2022). *El Confidencial*. Obtenido de El Confidencial: https://www.elconfidencial.com/motor/industria/2022-02-24/bateria-electricos-litio-cobalto-niquel-demanda-bev_3381191/#:~:text=acuerdo%20al%20respecto.-,Durante%20el%20pasado%202021%2C%20el%20precio%20de%20las%20bater%C3%ADas%20disminuy%C3%B3,que%20hab%C3
- Merino, A. (2021). *El Orden Mundial*. Obtenido de El Orden Mundial: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/mapa-produccion-cobalto-mundo/>
- Condorchem (2022). *Condorchem*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/blog/extraccion-recuperacion-litio/>
- Li-Cycle (2022). *Li-Cycle*. Obtenido de Li-Cycle: <https://li-cycle.com/>
- Trading Economics (13 de 06 de 2022). *Trading Economics*. Obtenido de <https://tradingeconomics.com/commodity/lithium>
- Trading Economics (30 de 06 de 2022). *TradingEconomics*. Obtenido de TradingEconomics: <https://es.tradingeconomics.com/commodity/lithium>
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- ONU. (6 de 2021). *ONU*. Obtenido de ONU: <https://www.un.org/es/about-us/history-of-the-un>
- Plaza, D. (2020). *Motor.es*. Obtenido de Motor.es: <https://www.motor.es/que-es/anodo-catodo#:~:text=Es%20decir%2C%20que%20el%20material,de%20oxidaci%C3%B3n%20al%20recibir%20electrones.>
- RAE. (2022). *RAE*. Obtenido de RAE: <https://dle.rae.es/bater%C3%ADa>

- Roca, J. (10 de 2021). *El periodico de la Energía*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/los-mayores-productores-de-baterias-de-ion-litio-del-mundo-eeuu-reduce-la-brecha-con-china-en-la-carrera-por-dominar-el-mercado/>
- Roca, J. A. (8 de 10 de 2021). *El Periódico de la Energía*. Obtenido de El Periódico de la Energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-mayores-productores-de-baterias-de-ion-litio-del-mundo-eeuu-reduce-la-brecha-con-china-en-la-carrera-por-dominar-el-mercado/>
- Sevilla, A. (2018). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/economia.html>
- Sherman, N. (26 de 07 de 2018). *BBC News, Nueva York*. Obtenido de BBC News, Nueva York : <https://www.bbc.com/mundo/noticias-44966801#:~:text=M%C3%A1s%20de%2060%20%25%20del%20cobalto,del%20mundo%20de%20cobalto%20refinado.>
- Solé, C. (14 de 02 de 2022). *Toyota*. Obtenido de Toyota-forklifts: <https://blog.toyota-forklifts.es/que-son-las-baterias-de-litio>
- Stahel. (1978). *Economía Circular*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/gl/ceneam/recursos/materiales/economia-circular-ebook_tcm37-442642.pdf
- UE. (21 de 04 de 2022). *Unión Europea*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>

ANEXO

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Reflexión sobre la relación del TFG con los ODS en general y con el/los ODS más relacionados.

Tras realizar el Trabajo Fin de Grado se han abordado varios Objetivos de Desarrollo Sostenible. En concreto hemos los objetivos 6 “agua limpia y saneamiento”, objetivo 7 “energía asequible y no contaminante”, objetivo 11 “ciudades y comunidades sostenibles”, objetivo 13 “acción por el clima” y objetivo 15 “vida de ecosistemas terrestres”. Hay objetivos que son más directos con el Trabajo Fin de Grado.

El Trabajo Fin de Grado se ha abordado una economía sostenible en el sector de las baterías de litio que influye directamente en una reducción importante del CO2 y un tratamiento directo de los residuos tóxicos que en caso de no ser tratados correctamente pueden contaminar aguas subterráneas potables y el ecosistema.

Estos objetivos son muy importantes para el futuro del planeta y ecosistema, es por ello que cada vez esta economía está cogiendo mas peso.