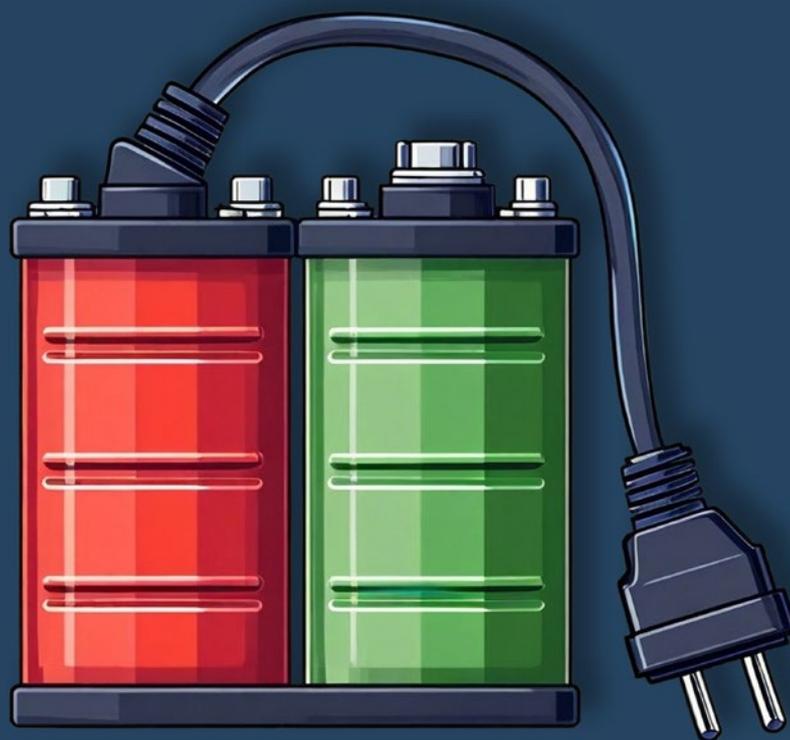


Vulnerabilidades asociadas a la **producción** de **baterías eléctricas**

Desafíos, capacidades
y oportunidades



EQUIPO TÉCNICO
KPMG ASESORES, S.L.
www.kpmg.es



DIRECCIÓN DEL PROYECTO
Centro de Estrategia y Prospectiva Industrial (CEPI)
EOI Escuela de Organización Industrial
Avd. Gregorio del Amo, 6
28040 Madrid
Tel.: 91 349 56 00
www.eoi.es



Proyecto desarrollado en el marco del convenio establecido entre la Secretaría de Estado de Industria del Ministerio de Industria y Turismo y la Fundación EOI F. S. P. para el desarrollo de actuaciones en materia de Prospectiva y Estrategia.

Proyecto desarrollado en el año 2024. Los trabajos de campo asociados al presente informe han sido realizados con fecha julio de 2024, pudiendo haber ocurrido hechos significativos con posterioridad a esta última fecha, no quedando recogidos en este informe.

ISBN: 978-84-15061-89-2
ISBN PDF: 978-84-15061-88-5
Depósito Legal: M-5014-2025



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons. Atribución, NoComercial, CompartirIgual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

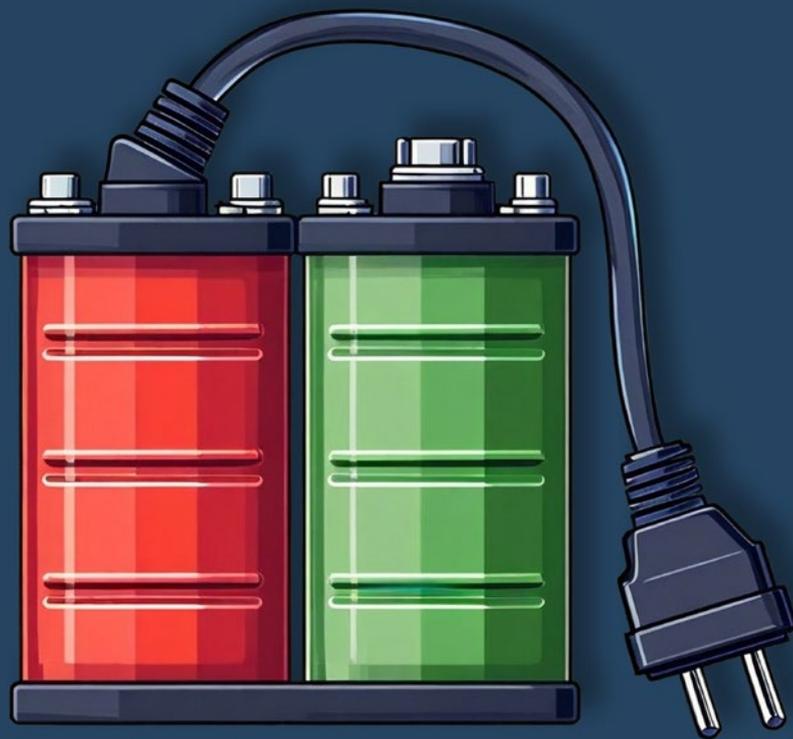
© Fundación EOI, F. S. P.

ÍNDICE

I. RESUMEN EJECUTIVO	5
II. INTRODUCCIÓN Y OBJETO	11
III. ESTRUCTURA	15
IV. METODOLOGÍA	19
V. MARCO REGULATORIO	25
1. Régimen jurídico aplicable a baterías eléctricas	27
2. Almacenamiento energético	29
VI. ENTORNO POLÍTICO Y ECONÓMICO	33
1. Impacto económico de la producción de baterías y sectores relacionados	35
2. Relaciones internacionales y acuerdos comerciales relevantes	40
VII. TENDENCIAS	49
1. Evolución de la demanda de baterías de electromovilidad a nivel mundial	51
2. Desarrollo tecnológico y avances en investigación	53
3. Perspectivas de crecimiento en Europa y España	59
VIII. ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR	65
1. Extracción y transformación	68
2. Producción	80
3. Aplicaciones	87
4. Reciclaje de baterías	90
5. Servicios auxiliares	100
6. Investigación, desarrollo e innovación	105
7. Vulnerabilidades y criticidades	108
IX. IDENTIFICACIÓN DE VULNERABILIDADES Y CRITICIDADES	113
1. Listado de materias primas y productos críticos susceptibles de presentar criticidad	115
2. Aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos	120
3. Aplicación de la metodología de análisis prospectivo de criticidades	123
4. Resumen de las criticidades y vulnerabilidades identificadas tanto en la actualidad como a nivel prospectivo	127

X. MEDIDAS Y PROPUESTAS PARA LA RESILIENCIA DE LA CADENA DE SUMINISTRO	129
1. Diversificación del suministro y fortalecimiento de las relaciones comerciales internacionales	132
2. Explotación de yacimientos clave de minerales críticos para la transición de la Unión Europea	139
3. Optimización en la gestión y utilización de recursos estratégicos	144
4. Innovación en baterías de segunda generación	149
5. Recapitulación sobre las medidas propuestas	155
XI. ANEXOS	157
Anexo I. Metodología para la identificación de recursos estratégicos, su grado de dependencia y riesgo de suministro	159
Anexo II. Metodología de análisis prospectivo de criticidades y vulnerabilidades	163

I. RESUMEN EJECUTIVO



Este informe analiza las vulnerabilidades y dependencias de la cadena de suministro vinculada a la producción de baterías eléctricas, un sector clave en la transición energética. En un contexto de creciente demanda de vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía renovable, la capacidad de la industria para asegurar un suministro estable y sostenible de baterías es crítica. El informe aborda tanto los desafíos actuales como las oportunidades a través de un análisis detallado que culmina en propuestas para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro.

En primer lugar, se realiza un barrido del marco regulatorio. Si bien regulaciones como el Reglamento (UE) 2021/1119 y el más reciente Reglamento (UE) 2023/1542 han sentado las bases para garantizar la sostenibilidad y seguridad en el sector, la evolución tecnológica y los nuevos desafíos del mercado han dejado obsoletas algunas normativas. Esto requiere una actualización continua para mantener el alineamiento con las nuevas exigencias del sector. El reglamento de 2023, en particular, introduce conceptos novedosos como el pasaporte digital de baterías y la responsabilidad ampliada del productor, esenciales para mejorar la trazabilidad y el cumplimiento de los objetivos climáticos de la UE.

Cabe destacar que España ha impulsado la electromovilidad como una prioridad en su agenda de sostenibilidad, implementando políticas fiscales y beneficios para fomentar tanto la adopción de vehículos eléctricos como el desarrollo de infraestructuras de recarga. La creación de empleo en sectores relacionados con la producción de baterías y el almacenamiento de energía está en pleno auge, aunque la dependencia de la importación de baterías y componentes sigue siendo un reto estratégico. Para superar estos obstáculos, se hace imprescindible una mayor inversión en capacidades de producción nacional y en tecnologías que permitan una mayor autonomía económica.

Se ha realizado un análisis de la cadena de valor que ha permitido identificar las fases clave desde la extracción de materias primas hasta la fabricación y reciclaje de las baterías. La dependencia de terceros países para el suministro de materiales como el litio y el cobalto es una vulnerabilidad fundamental que afecta a la autonomía energética europea. Además, el informe resalta la importancia de integrar tecnologías más sostenibles a lo largo de toda la cadena de valor para reducir el impacto ambiental y social de estos procesos.

Como consecuencia de este análisis de la cadena de valor, se han identificado una serie de vulnerabilidades y aspectos críticos. A partir de las materias y productos identificados como estratégicos, mediante la aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos, su grado de dependencia y riesgo de suministro (en adelante, la Metodología para la identificación de recursos estratégicos), se ha realizado un estudio prestando especial atención a los posibles efectos de las materias primas y de los componentes críticos sobre las capacidades industriales presentes y futuras de España en relación con la demanda esperada.

La Metodología para la identificación de recursos estratégicos se basa en la metodología desarrollada por la Comisión Europea para la identificación de materias primas críticas y sus riesgos asociados (https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en).

Esta metodología ha sido adoptada y adaptada en diversos trabajos relacionados con la autonomía estratégica de España, impulsados por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, entre los que destaca la creación de la Reserva Estratégica basada en las Capacidades Nacionales de Producción Industrial (RECA). Su aplicación permite analizar la criticidad de las materias primas y componentes desde un enfoque integral, considerando factores como la dependencia exterior, los riesgos de concentración de suministro, los riesgos geopolíticos y la capacidad productiva nacional.

Bajo este objetivo, tras la identificación de las materias primas y componentes objeto de análisis, la metodología llevó a cabo un análisis particular para cada uno de ellos en términos de dependencia exterior, riesgos de concentración de suministro y riesgos de origen, a partir de los flujos comerciales internacionales de exportación e importación, así como de la producción nacional.

Adicionalmente, tras la aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos para evaluar el riesgo de suministro actual de las **materias primas involucradas en la cadena de valor de las baterías eléctricas**, se analizaron potenciales escenarios futuros de riesgo relativos a dicha cadena de valor y a las **materias primas previamente identificadas como críticas o susceptibles de criticidad**. Esto permitió obtener un análisis prospectivo del riesgo de suministro en relación con el nivel observado bajo las condiciones actuales.

Para ello, se llevó a cabo un análisis fundamentado en las proyecciones de demanda de las materias primas implicadas en la cadena de valor, en base al estudio *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study* elaborado por la Comisión Europea, incluyendo y valorando la evolución futura de las materias primas consideradas, las estimaciones de la futura mezcla de configuraciones y diseños en las tecnologías implicadas y la cantidad de material necesaria por unidad de tecnología desplegada, entre otros factores para la proyección de la demanda futura.

De esta forma, dicho análisis prospectivo se basó en dos horizontes temporales, considerando las **proyecciones respecto al año 2030 y las proyecciones respecto al año 2050**, contemplando la evolución estimada y su variabilidad en el tiempo. Además, en función del consumo esperado de las materias críticas relacionadas y de las proyecciones consideradas por la Comisión Europea, se desarrollaron dos escenarios principales: un escenario de baja demanda (LDS) y un escenario de alta demanda (HDS).

Este enfoque permite anticipar posibles riesgos y puntos de presión a lo largo de la cadena de valor. El análisis revela que la principal vulnerabilidad sigue siendo la alta dependencia de Europa de materias primas críticas y los riesgos asociados al reciclaje insuficiente de baterías, que limita la reutilización de materiales estratégicos. A través del análisis prospectivo, se han identificado los factores externos que podrían desestabilizar el suministro, tales como conflictos comerciales, fluctuaciones de precios y la creciente competencia por los recursos.

El proceso de análisis incluyó un detallado estudio de las tecnologías actuales y emergentes en la producción de baterías, así como los cuellos de botella que podrían afectar

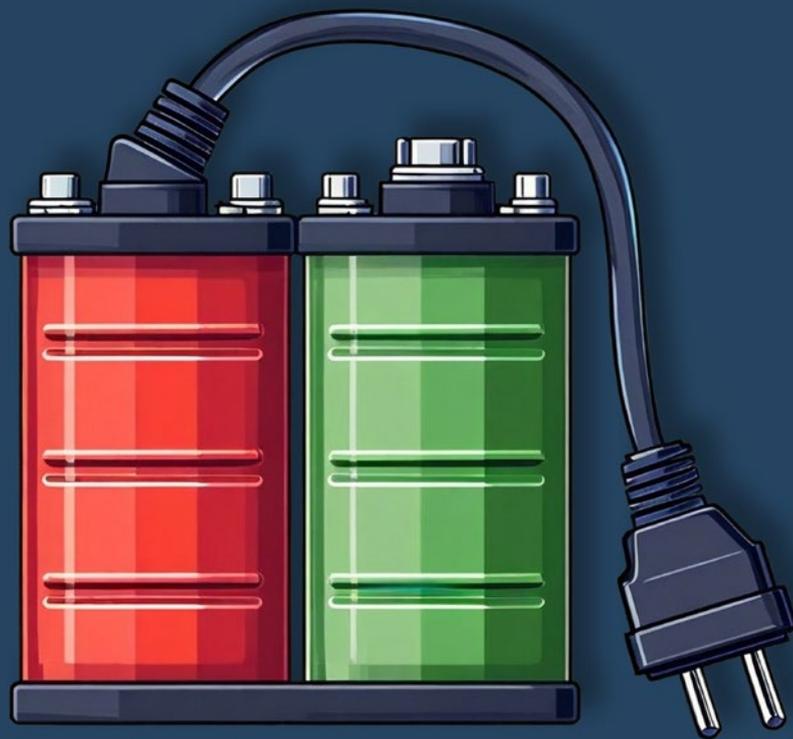
la cadena de suministro. Se puso especial atención en las dependencias geopolíticas, ya que países como China dominan la producción y refinado de gran parte de los materiales utilizados en las baterías.

Finalmente, se presentan las **medidas y propuestas para la resiliencia de la cadena de suministro**, orientadas a mitigar las vulnerabilidades identificadas. Una de las principales recomendaciones es fortalecer la industria europea de baterías mediante la creación de capacidades locales para la extracción, procesamiento y reciclaje de materias primas. El desarrollo de una industria nacional de reciclaje y la promoción del autoabastecimiento de materiales básicos son esenciales para reducir la dependencia de proveedores externos. Del mismo modo, se subraya también la importancia de impulsar la investigación y desarrollo en tecnologías innovadoras, como las baterías de estado sólido, para mejorar la autonomía, la seguridad y la competitividad del sector.

Las medidas incluyen también una mejora en la colaboración entre los sectores público y privado para atraer inversiones, así como la necesidad de garantizar un marco regulatorio adaptable que fomente la innovación sin poner en riesgo la sostenibilidad. A nivel estratégico, se propone una mayor integración entre los actores europeos de la cadena de valor, facilitando así la consolidación de una red de suministro más eficiente y menos vulnerable a fluctuaciones externas.

En conclusión, el informe destaca que para que España y Europa mantengan su liderazgo en la transición hacia una movilidad eléctrica sostenible, es vital abordar las vulnerabilidades en la cadena de suministro de baterías. Las inversiones en innovación tecnológica, junto con una mayor independencia en el suministro de materias primas, serán claves para asegurar el éxito en esta transición.

II. INTRODUCCIÓN Y OBJETO



El presente trabajo es un estudio, aplicado al caso de España y con perspectiva europea, de la cadena de suministro correspondiente a un área de interés estratégico para Europa: la producción de Baterías Eléctricas para electromovilidad.

Incrementar la soberanía industrial en sectores estratégicos en el ámbito europeo es una preocupación de primer nivel para la Comisión Europea y los estados miembros. La necesidad de contar con cadenas de suministro seguras se puso de manifiesto con las disrupciones motivadas por la pandemia de la COVID-19 y el subsiguiente desequilibrio de la oferta y demanda global de materias primas y bienes. Ahora, se intensifica esta necesidad en un escenario global de tensiones comerciales y geopolíticas. La dependencia de proveedores inestables está impulsando actuaciones para la recuperación de soberanía industrial europea como elemento clave para el desarrollo económico.

En este contexto de inestabilidad, asistimos a un nuevo enfoque en la gestión de las cadenas de suministro, en el cual la resiliencia, entendida como la capacidad de adaptación, respuesta y recuperación frente a disrupciones imprevistas, cobra importancia frente a otros elementos habitualmente valorados, como los costes o la velocidad de producción. Con una fuerte dependencia de las cadenas de suministro globales, la Comisión Europea, además de instar a los estados miembros a adoptar medidas para recuperar independencia industrial y desarrollar cadenas de suministro resilientes, ha llevado a cabo estudios destinados a identificar las vulnerabilidades de las cadenas de suministro estratégicas y apoyar la adopción de medidas.

En relación con esto, el presente trabajo da respuesta a esa identificación de vulnerabilidades y criticidades específicas en relación con la producción de Baterías Eléctricas en España, identificando aquellas materias primas, tecnologías y procesos industriales que son susceptibles de generar una criticidad relevante en el sector. Para esto, se ha desarrollado un estudio que contempla el análisis de los diferentes eslabones de la cadena, contando como fuente de información con datos públicos, así como con la intervención de los principales representantes del sector privado y académico en relación con la materia.

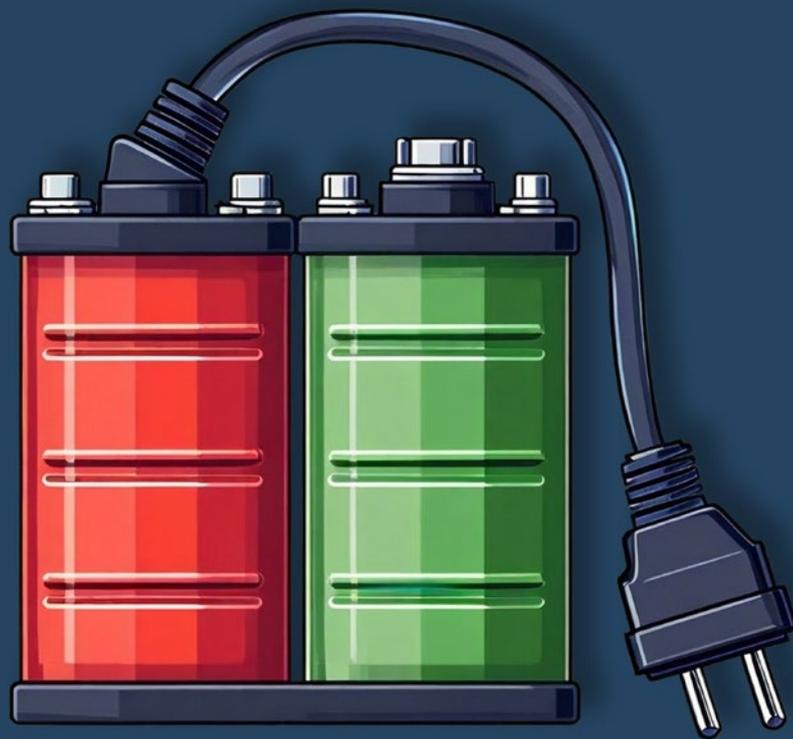
Los objetivos de este informe sobre la cadena de valor de producción de baterías para electromovilidad en España son los siguientes:

- **Analizar la cadena de valor.** Realizar un análisis exhaustivo de cada eslabón de la cadena de valor de producción de baterías para electromovilidad, desde la extracción de materias primas, hasta la utilización final de la batería, identificando procesos críticos y las interdependencias entre ellos.
- **Conocer los principales procesos en la cadena de valor.** Detallar y comprender cada proceso clave dentro de cada eslabón de la cadena. Además, en este punto, se identificarán aquellos condicionantes complementarios que podrían influir y afectar a los procesos y al eslabón en cuestión en su conjunto. Esto ayudará a identificar puntos de eficiencia y áreas potenciales de mejora.
- **Evaluar la vulnerabilidad y dependencia de productos y materias primas dentro de cada uno de los procesos.** Para identificar cada producto, materia prima, componente o tecnología crítica para el desarrollo del sector en España.

- **Conocer la situación real dentro del sector.** Entendiendo desafíos operacionales, expectativas del mercado, y la percepción de las baterías eléctricas dentro del contexto, mercado y marco económico español.
- **Identificar oportunidades de innovación.** Destacar áreas donde la investigación, desarrollo e innovación pueden contribuir a superar desafíos y mejorar la eficiencia de las baterías para electromovilidad, posicionando a España como un líder en este campo y asegurando así, su autonomía estratégica¹.

1. Autonomía estratégica: capacidad de un país o región para mantener la autosuficiencia y control sobre tecnologías y recursos críticos, minimizando la dependencia de proveedores externos. En el contexto de la producción de baterías, implica asegurar el desarrollo y suministro sostenible de componentes esenciales para la electromovilidad.

III. ESTRUCTURA



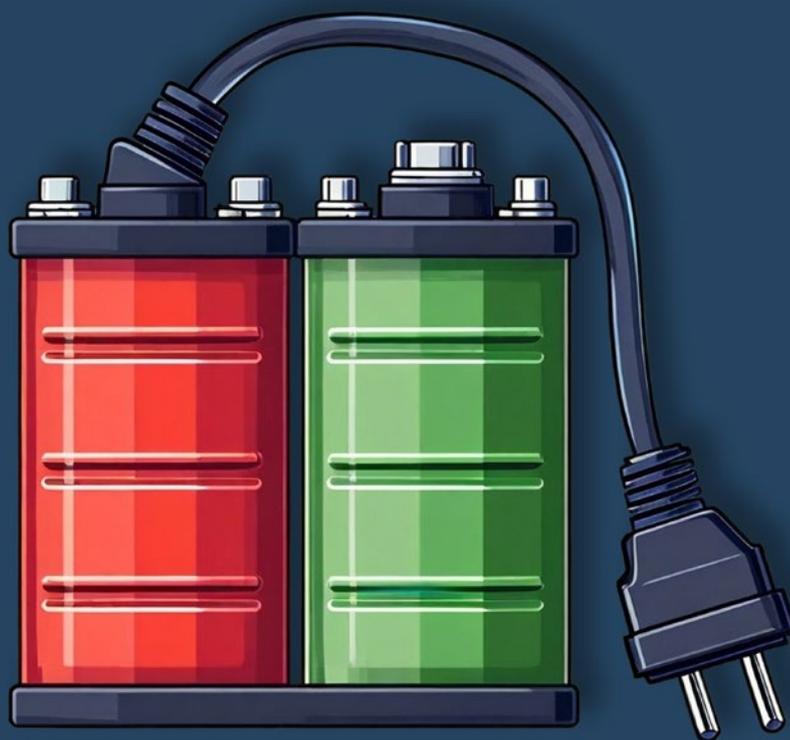
Para dar respuesta al objeto planteado, este estudio comprende el siguiente alcance:

- Contexto y justificación del estudio en el marco de la minimización de las dependencias estratégicas en el ámbito europeo. En este sentido, se recoge tanto el marco regulatorio, el entorno político, económico y el análisis de tendencias. En todos estos apartados se contempla, entre otros:
 - La base normativa sobre la que emana el sector (nacional y europea).
 - El análisis de los principales sectores relacionados con las baterías eléctricas, así como su impacto y potencial alineación.
 - Una identificación preliminar de la cadena de valor asociada al sector, así como las principales consideraciones en esta.
 - Relaciones internacionales y principales riesgos geopolíticos presentes.
 - Las tendencias en materia de evolución de la demanda, de desarrollo tecnológico y avances en investigación.
 - Perspectivas de crecimiento en Europa y España.
- El análisis en profundidad de la cadena de valor, contemplando la identificación de los principales aspectos críticos en relación con las materias primas, tecnologías, procesos industriales y componentes más relevantes en cada eslabón de la cadena: Extracción y Transformación, Producción, Aplicación, Reciclaje de baterías, Servicios auxiliares e Investigación, Desarrollo e innovación.
- Identificación y cuantificación de las vulnerabilidades y criticidades específicas del sector a partir de la aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos y de un análisis prospectivo basado en la futura demanda².
- Propuesta de posibles medidas públicas de apoyo a la resiliencia del sector, así como su justificación, alcance y pertinencia en función de las conclusiones alcanzadas durante el estudio.

Tal y como puede apreciarse, la estructura parte de una caracterización general del sector y su cadena de valor para, tras eso, comenzar con el análisis en detalle de cada eslabón y las criticidades y vulnerabilidades que emanan de este.

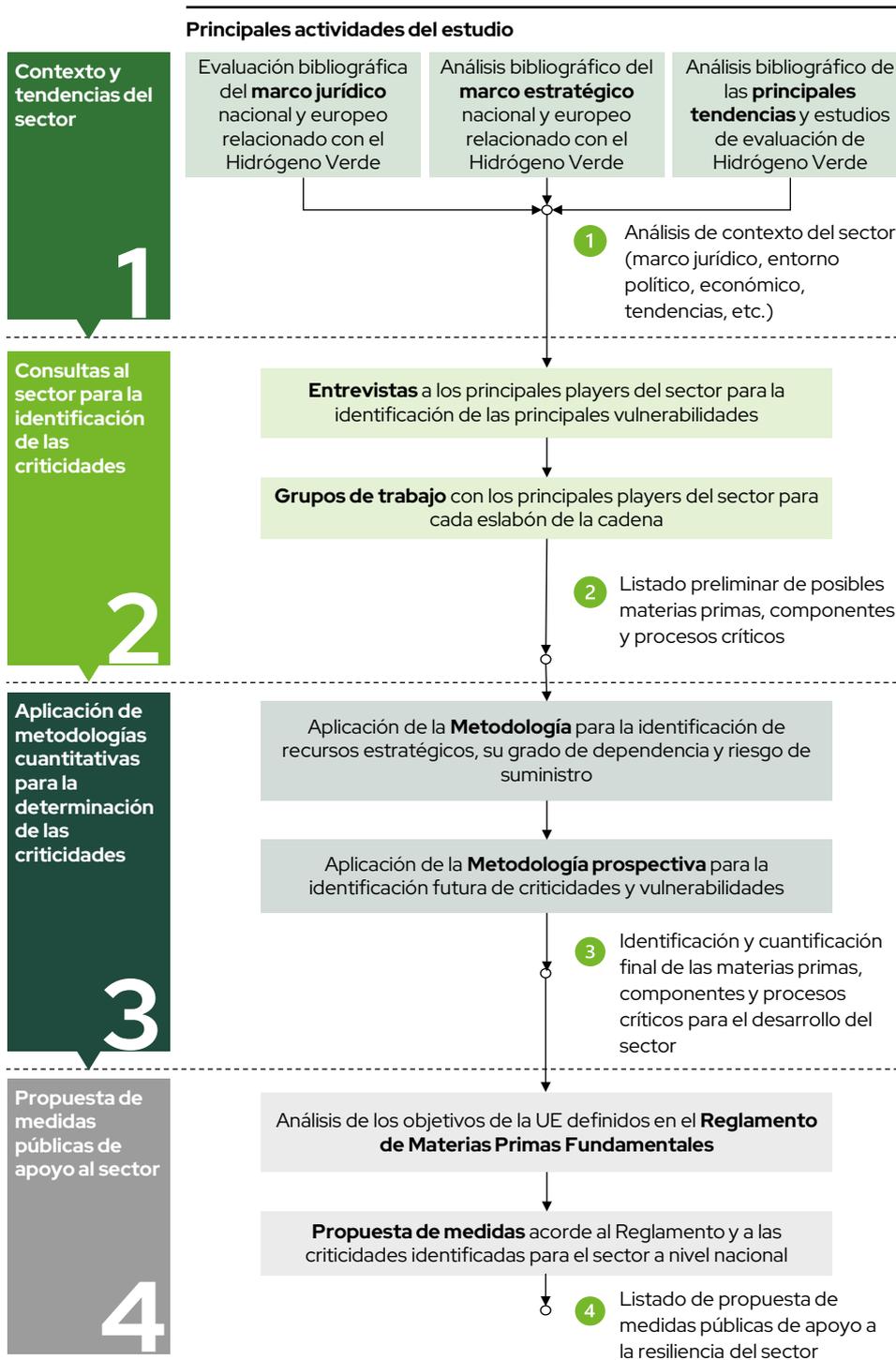
2. Adaptación de la metodología de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos para la identificación futura de criticidades y vulnerabilidades.

IV. METODOLOGÍA



La metodología seguida para la realización del estudio se estructura, como se muestra en la Figura 1, en cuatro fases bien definidas:

FIGURA 1. Flujo y estructura de la metodología del estudio



Fuente: Elaboración propia.

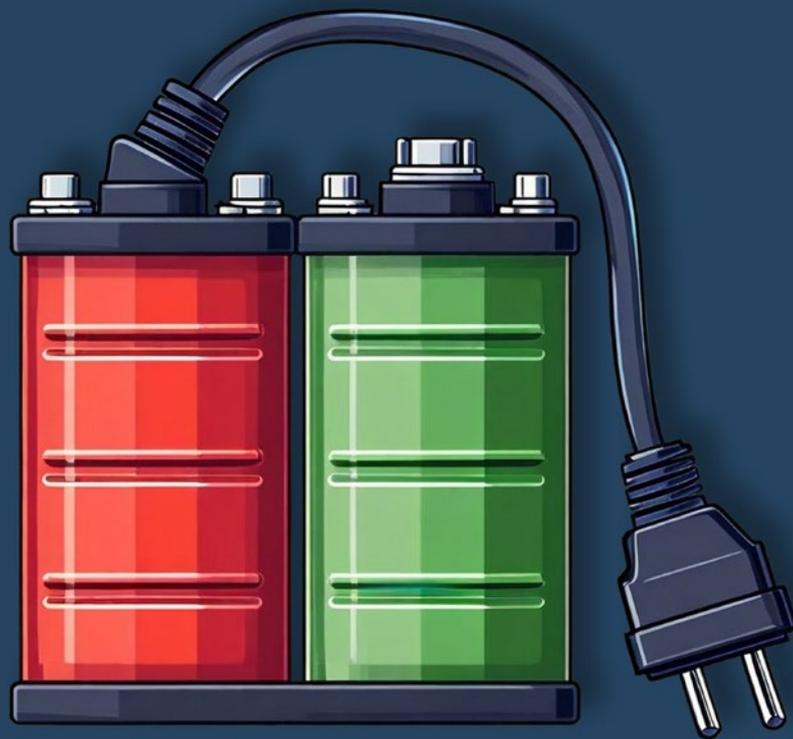
Tal y como se puede apreciar, la metodología comprende:

- Una **primera fase** donde, a partir del análisis normativo, estratégico y de tendencias tanto en el ámbito nacional como europeo, se ha obtenido una imagen general del estado del sector, así como de su desarrollo y perspectivas. Esta revisión incluye informes técnicos y científicos, artículos académicos y publicaciones especializadas que proporcionan una base sólida para el análisis, comprendiendo el siguiente alcance:
 - Normativas europeas y nacionales que supervisan la producción, almacenamiento y distribución de baterías eléctricas, incluyendo el Reglamento (UE) 2021/1119 sobre la neutralidad climática, el Reglamento (UE) 2023/1542 que establece requisitos de sostenibilidad y seguridad para baterías, el Real Decreto 993/2022 sobre control de importación de aparatos eléctricos y baterías, y el Real Decreto 106/2008 sobre la gestión ambiental de residuos de baterías, en proceso de adecuación.
 - Políticas públicas, incentivos, impacto económico de la producción de baterías y sectores relacionados. El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España y otros mecanismos de financiación como el PERTE para el desarrollo del Vehículo Eléctrico y Conectado (VEC), el Plan MOVES III gestionado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), y los instrumentos financieros europeos como la iniciativa PIICE, el Fondo de Innovación y Horizonte Europa han sido fundamentales para este análisis.
 - Identificación de actores clave, infraestructura actual, y materias primas críticas en la cadena de valor de las baterías eléctricas en España. Se ha consultado información sobre proyectos de fabricación de baterías en Sagunto, Navalmoral de la Mata, Badajoz y Vitoria, así como datos sobre la capacidad y producción de materias primas críticas como litio, cobalto y níquel.
 - Evolución de la demanda de baterías de electromovilidad a nivel mundial, desarrollo tecnológico y avances en investigación y perspectivas de crecimiento en Europa y España. Informes del Foro Económico Mundial sobre la demanda global de baterías, estudios de la Agencia Internacional de Energía (AIE) y el Global Battery Alliance han sido clave en esta evaluación.
- En una **segunda fase**, se llevó a cabo un proceso participativo que incluyó grupos de trabajo y entrevistas en profundidad con expertos y actores clave de los diferentes sectores involucrados. Este enfoque permitió identificar las principales problemáticas, frenos, preocupaciones, criticidades y dificultades en el contexto nacional. El alcance del proceso participativo realizado comprende:
 - Evaluación de tecnologías críticas, integración de energías renovables y Las discusiones incluyeron factores críticos como el acceso y disponibilidad de materias primas y tecnologías clave para la fabricación de baterías eléctricas, la falta de talento interno o la capacidad de reciclaje en España.
 - Identificación de los mayores desafíos para incrementar la fabricación de baterías eléctricas, como la atracción de fabricantes de vehículos para el desarrollo de sus proyectos de fabricación de eléctricos en España, costes elevados, el acceso a materias primas críticas, y la necesidad de infraestructura específica.

- Análisis de las vulnerabilidades y dependencias de la cadena de suministro de baterías eléctricas. La información recopilada ha sido esencial para comprender las percepciones y expectativas de los stakeholders, y para desarrollar estrategias que aborden los desafíos identificados y aprovechen las oportunidades emergentes en el sector.
- Una tercera fase donde, a partir de la aplicación de la **Metodología para la identificación de recursos estratégicos**, detallada en el Anexo I del presente documento, se han identificado las criticidades reales sobre la identificación preliminar realizada, todo esto en el contexto de desarrollo actual. Para complementar el estudio, se ha desarrollado una metodología prospectiva, detallada en el Anexo II, donde se han evaluado estas mismas criticidades en un escenario de alta y baja demanda para 2030 y 2050.
- Finalmente, a partir de las conclusiones del estudio y, para dar respuesta a estas, en la **cuarta fase** se ha definido una propuesta de medidas de apoyo públicas acorde con el Reglamento de Materias Primas Fundamentales.

Una vez repasada la metodología de elaboración para el presente documento, a continuación, se inicia con el detalle de las conclusiones y consideraciones alcanzadas respecto a todos los ámbitos de estudio, siendo necesario resaltar que todos los trabajos de campo asociados al presente informe han sido realizados con fecha julio de 2024, pudiendo haber ocurrido hechos significativos con posterioridad a esta última fecha, no quedando recogidos en este informe.

V.
MARCO
REGULATORIO



El 9 de julio de 2021 se publicó en el Diario Oficial de la Unión Europea el Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de junio de 2021, por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática y se modifican los Reglamentos (CE) n.º 401/2009 y (UE) 2018/1999 («Legislación europea sobre el clima»).

Este Reglamento estableció las bases para la reducción progresiva e irreversible de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea (o «UE»), materializando el objetivo fijado por el Pacto Verde Europeo en 2019 de lograr la neutralidad climática en la UE en 2050. Para ello, a más tardar el 30 de septiembre de 2023, y a partir de entonces cada 5 años, la Comisión Europea evaluará la pertinencia y coherencia de las medidas nacionales de cada Estado miembro para lograr el objetivo de neutralidad climática señalado por el Pacto Verde Europeo, sobre la base de los planes nacionales integrados de energía y clima y las estrategias y planes de adaptación nacionales.

El objetivo de descarbonizar la economía de la UE supone grandes retos transformadores de las economías e industrias de los Estados miembros, donde sectores como el hidrógeno renovable y el de las baterías eléctricas jugarán un papel fundamental y, en consecuencia, requerirán de un marco jurídico estable que proporcione seguridad jurídica a las inversiones que se realicen en dichos ámbitos.

En este sentido, el marco regulatorio, debido a la constante evolución del sector y de las directrices en materia de descarbonización, está en permanente actualización. En este documento se establecen las bases necesarias para comprender su estado actual, sin pretender ser un análisis exhaustivo, ya que los cambios en la normativa son continuos.

1. Régimen jurídico aplicable a baterías eléctricas

La cadena de valor asociada a las baterías eléctricas abarca varias fases, desde la obtención de las materias primas necesarias para su fabricación, hasta su implantación en los vehículos eléctricos y posterior gestión como residuo.

Con carácter general, la normativa europea y nacional se han centrado en el marco jurídico aplicable al tratamiento de las pilas y baterías en su condición de residuo.

En particular, cabe destacar:

El Reglamento (UE) 2023/1542³

publicado en el DOUE el pasado 12 de julio de 2023, con entrada en vigor en próximo 18 de febrero de 2024, a excepción de determinadas disposiciones⁴, por el que se establecen requisitos de sostenibilidad, seguridad, etiquetado, marcado e información para permitir la introducción en el mercado o la puesta en servicio de pilas o baterías en la UE. Asimismo, establece obligaciones de diligencia debida a los operadores económicos que introduzcan en el mercado o ponen en servicio pilas o baterías, incluidas las baterías para medios de transporte ligeros, vehículos eléctricos e industriales, con independencia de su forma, volumen, peso, diseño, composición, uso o finalidad.

El Real Decreto 993/2022

de 29 de noviembre, por el que se adoptan medidas de control para la importación de aparatos eléctricos y electrónicos, pilas y acumuladores procedentes de terceros países.

El Real Decreto 106/2008

de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos (última modificación operada por el Real Decreto 710/2015, de 24 de julio), que prevé obligaciones para los productores que pongan estos productos en el mercado nacional, incluidos los productores que realizan venta a distancia, a inscribirse en la sección especial, creada para ello, del Registro Integrado Industrial de ámbito estatal (RII-PyA); si bien ha quedado obsoleto tras la aprobación del Reglamento (UE) 2023/1542 y habrá de adecuarse a sus previsiones, así como a las de la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular («Ley de Residuos»).

En el proceso de dicha adecuación, se encuentra en fase de consulta pública previa el proyecto de Real Decreto por el que se adapta la normativa española al Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo 12 de julio de 2023 relativo a las pilas y baterías y sus residuos y por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y se deroga la Directiva 2006/66/CE; cuyo plazo para presentar alegaciones finalizó el pasado 11 de octubre de 2023.

La consulta pública precisamente pretende adecuar el Real Decreto 106/2008 a la última normativa aprobada (Reglamento (UE) 2023/1542 y Ley de Residuos).

3. El Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023, relativo a las pilas y baterías y sus residuos y por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y se deroga la Directiva 2006/66/CE.

4. Las siguientes disposiciones entrarán en vigor como sigue:

- a. el artículo 11 será aplicable a partir del 18 de febrero de 2027.
- b. el artículo 17 –a excepción de su apartado 2, que será aplicable a partir de 12 meses después de la fecha de la primera publicación de la lista a que se refiere el artículo 30, apartado 2– y el capítulo VI serán aplicables a partir del 18 de agosto de 2024.
- c. el capítulo VIII será aplicable a partir del 18 de agosto de 2025.

2. Almacenamiento energético

Uno de los mayores desafíos de la transición energética es la gestión de la producción de energía eléctrica a través de fuentes de generación de energía renovable. Las energías renovables como la solar o eólica desempeñan un papel crucial en esta transición, pero las fuentes de generación dependen, en ocasiones, de agentes externos como los meteorológicos. De este modo, resulta apropiado establecer herramientas que ofrezcan flexibilidad al sistema, tales como el almacenamiento energético.

Precisamente, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC) prevé el desarrollo de sistemas de almacenamiento energético como una de las herramientas clave para otorgar flexibilidad al sistema eléctrico y sostener el crecimiento significativo de generación de energía renovable, así como contribuir a la gestión de las redes eléctricas, la participación de la ciudadanía en el cambio de modelo energético y una mayor competencia e integración en el mercado eléctrico.

En la actualidad, principalmente coexisten dos sistemas de almacenamiento energético: (i) las instalaciones de almacenamiento hibridadas, y (ii) el almacenamiento *stand-alone* o conexión directa a la red de transporte sin necesidad de contar con una planta de generación de energía eléctrica.

2.1. Estrategia de Almacenamiento Energético

La Estrategia de Almacenamiento Energético (la «Estrategia de Almacenamiento»), aprobada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en febrero de 2021 establece las bases para pasar de los 8,3 GW de almacenamiento actualmente disponibles, a los 22 GW⁵ en el año 2030 y de 30 GW en 2050, incluyendo tanto almacenamiento a gran escala como distribuido.

En este contexto, la promoción y desarrollo de las baterías como sistema de almacenamiento será fundamental para la consecución del objetivo de almacenamiento energético de 22 GW establecido en el PNIEC, tanto las baterías convencionales como de flujo. Concretamente, la Estrategia de Almacenamiento establece las siguientes medidas:

- Medida 3.2. Fortalecer y promover la industria nacional de almacenamiento para su uso en todas las aplicaciones posibles.
- Medida 3.3. Fomento del autoabastecimiento nacional de las materias primas o componentes básicos.
- Medida 3.4. Impulsar el modelo de negocio de segunda vida de las baterías.

5. La Estrategia de Almacenamiento inicialmente fijó un objetivo de 20 GW, que ha sido aumentado a 22 GW con el borrador del nuevo PNIEC 2023-2030.

2.2. Consideraciones normativas relativas al almacenamiento energético

La Estrategia de Almacenamiento ya advertía que los principales retos regulatorios en este ámbito pasan por adaptar la legislación actual al almacenamiento energético. Sin embargo, desde la aprobación de la Estrategia de Almacenamiento en 2021, no se han producido avances significativos que permitan concluir un desarrollo normativo suficiente para dotar de garantías jurídicas a este sector.

A este respecto, debe hacerse referencia a las siguientes consideraciones normativas y/o proyectos normativos en tramitación:

La Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (la «Ley del Sector Eléctrico»)

Con carácter general, la Ley del Sector Eléctrico asimila el régimen jurídico de las instalaciones de almacenamiento al régimen aplicable a las instalaciones de generación de energía eléctrica. En particular, define las instalaciones de almacenamiento, como aquellas en las que «se difiere el uso final de electricidad a un momento posterior a cuando fue generada, o que realizan la conversión de energía eléctrica en una forma de energía que se pueda almacenar para la subsiguiente reconversión de dicha energía en energía eléctrica» y considera a sus titulares como sujetos dentro del sistema eléctrico (apartado h) del artículo 6 de la Ley del Sector Eléctrico)⁶.

En consecuencia, les resulta de aplicación el mismo régimen jurídico aplicable a las instalaciones de generación de energía, tanto por lo que se refiere a los permisos de acceso y conexión a la red, como los procedimientos autorizatorios y su régimen retributivo.

El Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica (el «RD 1183/2020»)

Incluye dentro de su ámbito de aplicación los criterios y el procedimiento de aplicación a las solicitudes y obtención de los permisos de acceso y conexión a un punto de la red por parte de titulares de instalaciones de almacenamiento, a excepción de las instalaciones de almacenamiento en los sistemas eléctricos de territorios no peninsulares de los que sea titular el operador del sistema y cuando las instalaciones tengan carácter de componentes plenamente integrados en la red de transporte.

Asimismo, establece que las solicitudes de acceso y conexión a la red de transporte o a la red de distribución de instalaciones de almacenamiento que puedan verter energía en las mismas, se considerarán como solicitudes para el acceso de instalaciones de generación de electricidad (sin perjuicio de los criterios técnicos de acceso específicos que deban ser tenidos en cuenta para este tipo de instalaciones), como consecuencia de su condición de instalaciones que, en determinados momentos, se comportan como instalaciones de producción (o de demanda).

6. En virtud de la modificación operada por el Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica (el «RD-ley 23/2020»).

Más específicamente, el RD 1183/2020 se refiere a:

- Las instalaciones de **almacenamiento híbridadas**.
- Al almacenamiento **stand-alone**.

La Disposición final undécima de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética

Bajo la rúbrica «*Reforma del sector eléctrico*» advierte de la necesidad de que a los doce meses desde la entrada en vigor de la misma (22 de mayo de 2022), el Gobierno y la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, presenten una propuesta de reforma del marco normativo en materia de energía que impulse, entre otras actividades e iniciativas, el almacenamiento de energía.

La Propuesta de Circular, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (la «CNMC»), por la que se establece la metodología y condiciones de acceso y de la conexión a las redes de transporte y distribución de las instalaciones de demanda de energía eléctrica (la «Propuesta de Circular de instalaciones de demanda de energía» o «Propuesta»)

Constituye el desarrollo reglamentario necesario para la plena aplicación del artículo 33 de la Ley del Sector Eléctrico (artículo por el que se regula el acceso y conexión) y pretende completar la regulación relativa al acceso y conexión para facilitar la incorporación de nuevos usuarios a las redes eléctricas de forma efectiva y eficiente, incluidos los titulares de instalaciones de almacenamiento y las redes de distribución de energía eléctrica cerradas.

Tal y como apunta la Memoria justificativa de la Propuesta, de 24 de mayo de 2023, ésta pretende responder a «*la necesidad de dotar de mayor flexibilidad en el acceso a las instalaciones de demanda*», a través de nuevas figuras de demanda imprescindibles para avanzar en la descarbonización de la economía, tales como la producción de gases renovables o el consumo de instalaciones de almacenamiento puedan flexibilizar su consumo.

Asimismo, destaca que los sistemas de almacenamiento energético serán claves para garantizar la transición a una economía neutra en emisiones, por lo que deberá apostarse por el despliegue de este tipo de instalaciones que, por el momento, precisa una definición concreta y específica para fomentar el acceso a la red por parte de estas instalaciones desde el punto de vista de la demanda.

El trámite de información pública de la Propuesta finalizó el pasado 28 de junio de 2023.

El acuerdo (orientación general) sobre una propuesta para modificar la configuración del mercado de la electricidad en la UE

El pasado 17 de octubre de 2023, el Consejo Europeo alcanzó un acuerdo (orientación general) sobre la propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se modifican, entre otros, el Reglamento (UE) 2019/943, relativo al mercado

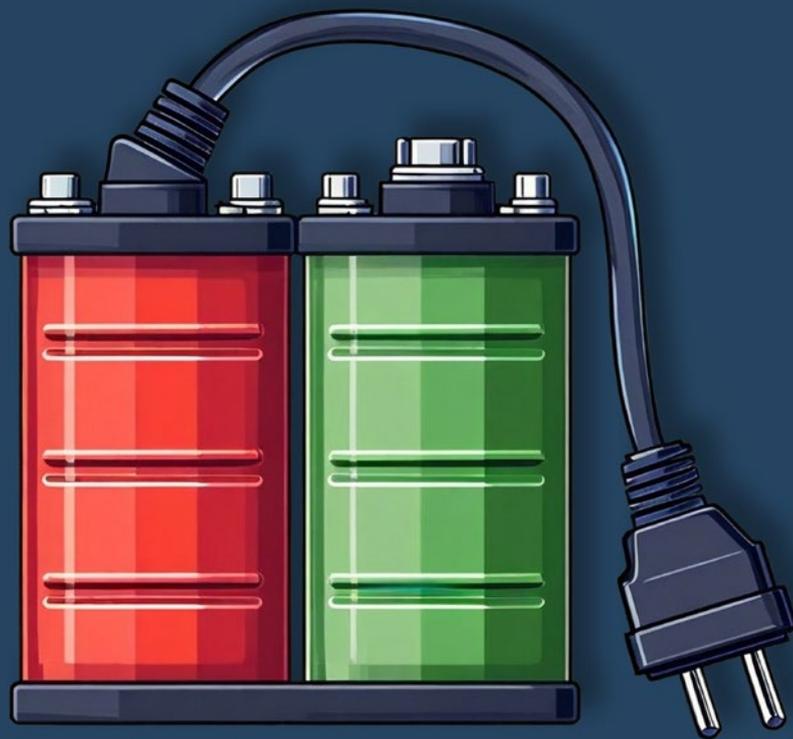
interior de la electricidad, las Directivas (UE) 2018/2001, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y (UE) 2019/944, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y (UE) 2019/942, sienta la posición provisional del Consejo y permitirá a la Presidencia del Consejo iniciar negociaciones con el Parlamento Europeo para alcanzar un acuerdo definitivo para la mejora del mercado de la electricidad en Europa.

Entre los principales objetivos de dicho Acuerdo destaca:

- Reducir la dependencia de los precios de la electricidad de los combustibles fósiles.
- Estabilizar los mercados de la electricidad a largo plazo a través del mercado de contratos de compraventa de energía mediante la generalización de contratos bidireccionales por diferencia en nuevas instalaciones de generación de electricidad mediante fuentes renovables y la mejora de la liquidez del mercado de futuros.
- Acelerar el despliegue de las energías renovables.
- Mejorar la protección de los consumidores respecto del aumento de precios, a través de la libre elección del suministrador y la posibilidad de acceder a tarifas dinámicas de electricidad y a contratos de duración determinada y a precios fijos.

Por todo, resulta necesario hacer un seguimiento de las propuestas y proyectos normativos en desarrollo, así como la aprobación de normativa aplicable específica que genere un entorno jurídico seguro en materia de almacenamiento energético a fin de garantizar el correcto despliegue de estos sistemas para la adecuada consecución de los objetivos de descarbonización y los objetivos establecidos en la Estrategia de Almacenamiento.

VI. ENTORNO POLÍTICO Y ECONÓMICO



En los últimos años, España ha situado la electromovilidad en el centro de su agenda política, como parte de su compromiso con la sostenibilidad ambiental y la reducción de emisiones. El gobierno ha implementado diversas políticas para impulsar la adopción de vehículos eléctricos, destacando entre ellas incentivos fiscales significativos. Algunas de las estrategias clave para estimular el mercado incluyen reducciones en los impuestos de matriculación y beneficios fiscales para empresas que incorporan flotas de vehículos eléctricos.

Este enfoque no se limita solo a los vehículos, sino que se extiende a la infraestructura de carga. Las inversiones gubernamentales destinadas a mejorar la red de puntos de recarga buscan eliminar obstáculos percibidos en términos de autonomía de los vehículos eléctricos. Además, las regulaciones se han ajustado para limitar las emisiones de los vehículos, respaldando así la transición hacia tecnologías más limpias y eficientes.

Desde el punto de vista económico, la electromovilidad ha generado un impacto significativo en la estructura laboral y la inversión en España. La creación de empleo ha sido una consecuencia directa de esta transición, con la industria de vehículos eléctricos, la producción de baterías y el desarrollo de infraestructuras de carga emergiendo como sectores de alto crecimiento. Las inversiones en investigación y desarrollo, respaldadas por programas gubernamentales, buscan mejorar tanto la tecnología de vehículos eléctricos como el desarrollo de baterías, fortaleciendo así la competitividad nacional.

No obstante, este cambio hacia la electromovilidad plantea grandes desafíos económicos. La industria de automoción tradicional se está teniendo que adaptar a nuevas tecnologías, mientras que la competencia global ha aumentado, planteando interrogantes sobre la sostenibilidad a largo plazo de los modelos de negocio existentes. Además, la dependencia de importaciones de baterías ha puesto de manifiesto la necesidad de fortalecer la capacidad de producción nacional para garantizar una autonomía económica sostenible en esta transición hacia la electromovilidad.

1. Impacto económico de la producción de baterías y sectores relacionados

Este cambio de paradigma que está viviendo la sociedad y la industria, así como en concreto el sector de la automoción y la movilidad, está desencadenando un gran impacto en el tejido productivo y en la economía.

A continuación, se analizará el efecto que está teniendo en algunos ámbitos concretos:

1.1. Impacto económico

Empleo

El sector de la electromovilidad ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. La demanda de vehículos eléctricos ha disparado por ende la demanda de baterías avanzadas y eficientes, llevando a una expansión rápida de la industria. Se

espera que para 2030, según el Foro Económico Mundial,⁷ la cadena de valor de las baterías genere hasta 10 millones de empleos a nivel global de los cuales al menos un millón se generarían en Europa.

Con el crecimiento de la movilidad eléctrica y la continua inversión en investigación y desarrollo de baterías más eficientes y sostenibles, el empleo en este sector seguirá en ascenso. Las innovaciones tecnológicas podrían conducir a la aparición de nuevos roles y especialidades, mientras que la demanda global de movilidad sostenible garantiza un mercado en expansión para los vehículos eléctricos y sus componentes. Además, es esencial considerar la evolución de la infraestructura de carga y el reciclaje de baterías, ya que ambos generarán oportunidades laborales adicionales.

Sin embargo, también hay que ser conscientes de que el proceso de electrificación plantea ciertas inquietudes en relación con el empleo. De manera específica, el diseño de un vehículo eléctrico es más sencillo comparado con el de uno de combustión interna, al poseer cerca de un 40% menos de componentes. Esto implica que su ensamblaje es menos laborioso, reduciendo aproximadamente en un 25% las horas de trabajo necesarias para su construcción.

Por otro lado, la transición hacia la electricidad tendrá un impacto en las estaciones de combustible tradicionales. Con un aumento en la preferencia hacia la carga de vehículos eléctricos en hogares, estas estaciones podrían quedar relegadas mayormente como puntos de recarga para trayectos más extensos.

Todo ello supone que la movilidad eléctrica está reconfigurando el paisaje laboral. A pesar de las preocupaciones sobre la pérdida de empleos en áreas tradicionales, se prevé que surgirán nuevas oportunidades en sectores como la energía e infraestructura de recarga. Para mantener la competitividad de la industria automovilística, es crucial intensificar el desarrollo de vehículos eléctricos y aumentar la producción local.

Paralelamente, existe una demanda emergente para la capacitación de la fuerza laboral; se estima que unos 165.000 trabajadores necesitarán formación específica para poder adaptarse a las nuevas especificaciones de las baterías y los componentes de la electromovilidad.

Algunos ejemplos son el sector de reutilización y reciclaje de baterías, ya que también ofrece un potencial, con un posible aumento del 20% en las oportunidades de empleo o la expansión de la infraestructura de recarga; lo que podría resultar en hasta 17.000 empleos adicionales. No obstante, se anticipa una pérdida de 29.000 empleos para 2030 debido a la disminución de la producción de vehículos tradicionales y la deslocalización.

Inversiones

En la actualidad, la inversión en baterías eléctricas y su cadena de suministro se ha convertido en uno de los ejes centrales del crecimiento sostenible. Con un mundo en plena transición hacia energías más limpias y una movilidad eléctrica en ascenso, las perspectivas

7. [Global Battery Alliance](#). Foro Económico Mundial.

de inversión tanto en Europa como en España demuestran la importancia económica y estratégica de este sector.

La visión de Europa en cuanto a la adaptación a las energías renovables está impulsando una demanda creciente de baterías para la descarbonización del sector eléctrico. Se prevé una inversión acumulada que superará los 70.000 M€ entre 2023 y 2050 en el continente europeo⁸. El 40 % de esta suma, es decir, más de 28.000 M€, se invertirá antes del cierre de 2030.

Países como España e Italia ya están avanzando con objetivos concretos. España, en particular, se ha comprometido a implementar inversiones que permitirán la instalación de 2,5 GW de almacenamiento en baterías para 2030.

A nivel mundial, el mercado de vehículos eléctricos presenta una gran oportunidad para inversores y fabricantes. Se espera que las ventas de vehículos eléctricos superen los 8 Millones de unidades para 2030⁹. Esta demanda en ascenso subraya la necesidad crucial de inversiones en la cadena de suministro de baterías, donde la consolidación y expansión estratégica pueden traducirse en ventajas competitivas significativas.

España, que históricamente no se había centrado en la producción de baterías eléctricas, ha experimentado una notable transformación en los últimos años, posicionándose como un actor relevante en el sector de energía renovable y movilidad eléctrica en Europa.

La combinación de demanda interna, incentivos gubernamentales y objetivos de descarbonización de la UE sugiere que España podría ver un aumento sustancial en las inversiones en investigación, desarrollo, producción e infraestructura de baterías en la próxima década, consolidando su posición como un Hub clave en la producción de baterías y vehículos eléctricos en Europa.

I+D

El mercado mundial de baterías para vehículos eléctricos ha experimentado un crecimiento notable, con un aumento del 71,8 %¹⁰ en la capacidad instalada en un año. Este crecimiento destaca la importancia de la inversión en I+D en el desarrollo y mejora de las tecnologías de baterías.

Los avances tecnológicos, como las baterías de estado sólido y las soluciones de almacenamiento de energía fotovoltaica, están surgiendo gracias a la investigación y el desarrollo constantes. Además, la colaboración entre países y empresas en proyectos de investigación está impulsando la evolución de la industria, creando nuevas oportunidades y mercados.

A pesar de que España es un importante fabricante de vehículos, carece de una planta de producción de baterías, lo que plantea desafíos en términos de I+D y competitividad.

8. Segunda edición del European Battery Markets Attractiveness Report, de Aurora Energy Research.

9. Análisis de Frost & Sullivan (F&S) sobre el mercado global de almacenamiento de energía en baterías 2021. Growth Opportunities from Decarbonization in the Global Power Market 2019-2030.

10. SNE Research Informe Anual sobre fabricación e instalación de baterías para coches eléctricos. Tercer trimestre 2020.

En un contexto en el que la movilidad eléctrica se está consolidando como el futuro de la industria automotriz, la falta de inversión en I+D en baterías podría dejar a España rezagada en la carrera por el liderazgo mundial.

La inversión en I+D en baterías eléctricas no solo es esencial para mantener la competitividad, sino que también podría cerrar el círculo industrial de la movilidad eléctrica en el país. Con una mina de litio de gran capacidad en Cáceres, y la fabricación de vehículos eléctricos, España tiene un potencial significativo para atraer inversiones en la producción de baterías.

Además de las instalaciones necesarias para el proceso productivo de las baterías, también son vitales para el desarrollo del sector la presencia de laboratorios de I+D que permitan fomentar la innovación en tecnologías de baterías, investigando nuevas químicas, materiales y métodos de fabricación.

Del mismo modo, los centros de pruebas se antojan claves, pues se necesitan instalaciones para probar y certificar la calidad y el rendimiento de las baterías antes de su distribución.

En España ya existen varios centros de investigación y desarrollo enfocados en las baterías eléctricas. Por ello, España cuenta con un gran equipamiento en materia de investigación y desarrollo, lo que le permite obtener una posición de privilegio ventajosa de cara al futuro porvenir del sector.

Descarbonización

Tomar únicamente la huella de carbono como referencia en la evaluación de productos como las baterías eléctricas tiene sus riesgos y limitaciones, especialmente en un contexto donde la biodiversidad y la cadena de valor integrada están ganando importancia.

Algunos de estos riesgos pueden ser:

- Omisión de impactos ambientales significativos: La huella de carbono se centra en las emisiones de gases de efecto invernadero, pero puede pasar por alto otros impactos ambientales relevantes, como la degradación del suelo, la contaminación del agua, la deforestación y la pérdida de biodiversidad. La extracción de minerales y la producción de baterías pueden tener efectos negativos importantes en los ecosistemas locales, que no se reflejarán en la huella de carbono.
- Externalidades no contabilizadas: Los costes medioambientales y sociales asociados con la producción y extracción de minerales para baterías eléctricas pueden no estar reflejados en la huella de carbono. Estos costos a menudo recaen en las comunidades locales y el medio ambiente, lo que puede llevar a conflictos y daños irreversibles.
- Problemas en la cadena de suministro: Ignorar la cadena de valor completa, desde la extracción de minerales hasta la fabricación y reciclaje de las baterías, puede llevar a la explotación laboral, prácticas insostenibles y otros problemas éticos. La cadena de valor integrada es esencial para garantizar la trazabilidad y la sostenibilidad en cada etapa de producción.
- Enfoque limitado en la resiliencia: La biodiversidad es fundamental para la resiliencia de los ecosistemas. La falta de atención a la biodiversidad en la cadena de valor

de las baterías puede dar lugar a la pérdida de la capacidad de recuperación de los ecosistemas, lo que a su vez puede tener impactos en la disponibilidad de materias primas clave.

- Reputación y riesgos legales: Ignorar la biodiversidad y la cadena de valor puede llevar a riesgos reputacionales y legales. Los consumidores y las autoridades están prestando cada vez más atención a las prácticas sostenibles y éticas, y las empresas que no las cumplen pueden enfrentar consecuencias negativas en términos de imagen de marca y regulación.

En resumen, es esencial considerar no solo la huella de carbono, sino también la biodiversidad y la cadena de valor en la evaluación de productos como las baterías eléctricas. Esto ayudará a abordar de manera más completa los impactos ambientales y sociales, garantizar prácticas sostenibles y éticas, y reducir los riesgos asociados con la producción y el uso de estas tecnologías.

1.2. Sectores relacionados

Tal y como se ha explicado a lo largo del documento, la cadena de valor de las baterías es el componente crucial en la revolución de la movilidad eléctrica y el almacenamiento de energía, con el potencial de desencadenar cambios significativos en el sector tradicional de la automoción y fomentar la aparición de nuevas oportunidades de negocio. En un mundo cada vez más enfocado en la sostenibilidad y la eficiencia energética, las baterías se han convertido en el motor de la innovación y la transformación industrial.

Transporte y movilidad

Las baterías eléctricas son la piedra angular de la movilidad eléctrica. Al reemplazar los motores de combustión interna, las baterías permiten la conversión de energía eléctrica en movimiento, lo que reduce drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles.

Logística y distribución

En el ámbito logístico, la adopción de vehículos eléctricos impulsados por baterías se traduce en reducciones significativas de costos operativos y emisiones. Además, la utilización de baterías para la electrificación de almacenes y centros de distribución mejorará la eficiencia energética.

Sector industrial

Las baterías se integran en el sector industrial de varias maneras. Permiten la electrificación de procesos de producción, reduciendo las emisiones y mejorando la eficiencia. Además, respaldan la maquinaria industrial eléctrica, lo que disminuye la huella de carbono de la manufactura. Además de la electrificación del producto, la industria está en plena revolución hacia la sostenibilidad del proceso y las Green Factory.

Minería y extracción de minerales

La creciente demanda de minerales críticos para la fabricación de baterías, como el litio, el cobalto y el níquel, ha estimulado la expansión de la industria minera y la búsqueda de métodos sostenibles de extracción.

Reciclaje y producción de baterías

El reciclaje de baterías es esencial tanto para reducir residuos como para recuperar materiales valiosos. Paralelamente, la producción de baterías está en constante desarrollo, impulsando mejoras en la eficiencia y reducción de costes en las plantas de fabricación.

Infraestructura de carga

La implementación de estaciones de carga para vehículos eléctricos es un componente fundamental para impulsar la demanda. Las baterías tendrán un papel clave para garantizar la demanda creciente y evitar el colapso de la red.

Energía renovable

Las baterías desempeñan un papel crucial en el almacenamiento de energía generada por fuentes renovables intermitentes, como la energía solar y eólica, permitiendo la estabilización y distribución eficiente de la electricidad.

Tecnología de baterías avanzadas

La investigación y desarrollo de tecnologías de baterías avanzadas, como las baterías de estado sólido, contribuyen a aumentar la eficiencia y autonomía de los vehículos eléctricos y expanden su aplicabilidad en diversos campos más allá de la automoción.

Las baterías están desempeñando un papel central en la transformación de múltiples sectores económicos. El crecimiento de los vehículos eléctricos, la integración de energías renovables, la demanda de minerales críticos y la expansión de la infraestructura de carga son solo algunos ejemplos de cómo las baterías están impulsando cambios significativos en la industria automotriz, energética y tecnológica.

Esta evolución está generando oportunidades económicas y desafíos que están definiendo la economía global del siglo XXI hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia en el uso de la energía.

2. Relaciones internacionales y acuerdos comerciales relevantes

En el contexto global hacia la descarbonización y una apuesta por la electromovilidad, surge la necesidad de establecer alianzas entre gobiernos y compañías para hacer frente a los distintos retos asociados a este cambio de paradigma mundial.

2.1. Acuerdos y alianzas comerciales

Las baterías de electromovilidad han generado un impacto significativo en las relaciones internacionales y los acuerdos comerciales. A medida que la demanda de vehículos eléctricos ha aumentado, las naciones han buscado asegurar el acceso y la producción sostenible de estas baterías, claves para su desarrollo, dando lugar a nuevas dinámicas en el ámbito diplomático y comercial.

En este escenario, diversas alianzas estratégicas y acuerdos bilaterales se han desarrollado para facilitar la cadena de suministro de materias primas clave, como el litio, el cobalto y el níquel, esenciales para la fabricación de baterías. Además, se han establecido normativas y estándares internacionales para garantizar la calidad y seguridad de estas tecnologías, tal y como se explicaba con anterioridad en el marco normativo, influyendo en los términos de los acuerdos comerciales.

La competencia por liderar la producción y exportación de baterías también ha impulsado la formación de coaliciones y acuerdos regionales, con el objetivo de fortalecer la posición de los países en la cadena de valor de la electromovilidad. Estos aspectos de las relaciones internacionales están siendo moldeados por la creciente importancia estratégica de las baterías en el marco de la transición hacia la movilidad eléctrica y la descarbonización.

2.2. Relaciones internacionales

Las relaciones internacionales en materia de baterías para la electromovilidad son fundamentales en un mundo cada vez más centrado en la movilidad sostenible.

En primer lugar, el suministro de materias primas es un aspecto crítico. Los países y regiones con reservas significativas de minerales como el litio y el cobalto han estado involucrados en acuerdos y tratados relacionados con la extracción y el comercio de estos recursos esenciales para la fabricación de baterías. Además, la cooperación en investigación y desarrollo es una característica prominente de estas relaciones internacionales. En un esfuerzo por mejorar la eficiencia, la capacidad y la vida útil de las baterías, países y empresas colaboran en proyectos de investigación conjuntos, a menudo creando consorcios internacionales y acuerdos para compartir tecnologías y conocimientos.

Las normativas y los estándares globales son otra área importante de cooperación internacional. Organismos como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) trabajan en la creación de regulaciones armonizadas para garantizar la seguridad y el rendimiento de las baterías y los vehículos eléctricos en todo el mundo.

El comercio internacional de vehículos eléctricos y baterías también desempeña un papel destacado en estas relaciones. Los acuerdos comerciales, los aranceles y las barreras comerciales pueden influir significativamente en la disponibilidad y el coste de los vehículos eléctricos y sus componentes en diferentes regiones. Del mismo modo,

el cambio climático y la sostenibilidad son temas cruciales en el ámbito de las baterías para la electromovilidad.

Entre las relaciones internacionales en materia de baterías para la electromovilidad destacan:

- Alianza Mundial para Baterías (Global Battery Alliance): Esta iniciativa reúne a líderes de la industria, gobiernos y organizaciones internacionales para promover prácticas sostenibles en la cadena de suministro de baterías y garantizar la disponibilidad de minerales clave.
- Acuerdo de París: Aunque no está específicamente centrado en baterías, este acuerdo internacional sobre cambio climático impulsa la adopción de tecnologías de vehículos eléctricos y baterías más limpias en todo el mundo para reducir las emisiones de carbono.
- Iniciativa Europea de Baterías (European Battery Initiative): Esta colaboración reúne a países de la Unión Europea para impulsar la investigación y desarrollo en tecnología de baterías y reducir la dependencia de importaciones de baterías.
- Acuerdo de suministro de litio entre Australia y China: Australia es un importante productor de litio, y ha establecido acuerdos de suministro de litio con países como China, que es un gran fabricante de baterías de litio.
- Acuerdo sobre el transporte seguro de baterías de litio de la ONU (UN38.3): Este acuerdo establece regulaciones armonizadas para el transporte seguro de baterías de litio en aviones, y es adoptado por múltiples países para garantizar la seguridad en los viajes aéreos.

2.3. Riesgos geopolíticos

Los riesgos geopolíticos en la producción de baterías eléctricas para la movilidad se refieren a las amenazas y desafíos que surgen debido a la interacción de factores políticos, económicos y estratégicos en el ámbito internacional, que pueden influir en la disponibilidad de materias primas, tecnologías y rutas comerciales esenciales para la fabricación de baterías eléctricas. Estos riesgos pueden incluir:

Acceso a materias primas críticas

La fabricación de baterías de iones de litio depende de materias primas clave como el cobalto, el litio y el níquel. Los países que controlan o tienen un acceso significativo a estas reservas pueden ejercer influencia sobre la producción global de baterías.

Actualmente, la Unión Europea y, por ende, España, se encuentra en una situación de clara desventaja. La UE apenas produce el 1% de las materias primas necesarias para la fabricación de las baterías eléctricas para movilidad. Por su parte entre China, África y América Latina dominan el mercado con una cuota total de producción del 74% de las materias primas. Esto es un aspecto crítico para la Unión Europea, pues estos volúmenes no son suficientes para satisfacer la demanda interna, implicando una dependencia

absoluta de las importaciones del exterior, lo que expone a la industria a incertidumbres en el suministro y posibles incrementos de los costes.

La lucha por estos recursos clave está provocando un cambio en el panorama geopolítico mundial. Los países están formando alianzas y buscando fortalecer vínculos con naciones ricas en recursos. Esta carrera podría generar tensiones políticas y económicas a medida que los países busquen asegurar el acceso a estos materiales críticos.

China ha estado impulsando un impulso global para la electrificación del transporte y ha invertido mucho en la producción de baterías de iones de litio. Sin embargo, el dominio de China en la producción de estos recursos clave ha generado preocupaciones sobre su capacidad para utilizarlos como palanca en las relaciones internacionales.

La Unión Europea ha revelado planes para construir una alianza estratégica con naciones africanas para asegurar el acceso a recursos clave para baterías de automóviles eléctricos.

Japón, por su parte, ha lanzado un impulso para la producción nacional de materiales para baterías de coches eléctricos para reducir su dependencia de las importaciones.

Tensiones en zonas de extracción de minerales

Muchos de los minerales necesarios para las baterías se extraen en regiones geopolíticamente inestables o conflictivas, lo que puede provocar una interrupción en el suministro de materias primas.

En algunas regiones ricas en minerales críticos, como el cobalto, como la República Democrática del Congo, ha habido conflictos armados y luchas por el control de las minas. Esto no solo ha resultado en la explotación ilegal y en condiciones de trabajo peligrosas, sino que también ha interrumpido el suministro de estos minerales.

Otros países con grandes reservas de minerales clave, como el litio en Bolivia, han optado por un mayor control estatal sobre la explotación y exportación de estos minerales. Esto puede llevar a tensiones con empresas extranjeras y puede afectar la disponibilidad y los precios de estos minerales.

Dependencia de fuentes extranjeras

La dependencia de la importación de materias primas y componentes de baterías puede exponer a los países a riesgos económicos y políticos, especialmente cuando se trata de proveedores extranjeros.

Las regulaciones comerciales y las políticas gubernamentales, como sanciones comerciales, pueden influir en el flujo de materias primas y productos relacionados con las baterías.

China, con su poderío económico, ejerce una influencia considerable en muchas áreas críticas, desde paneles solares hasta baterías y vehículos eléctricos. Su capacidad para interrumpir cadenas de suministro cruciales es una preocupación real para Europa, y por ello la Comisión Europea desde Bruselas está buscando formas de fortalecerse ante posibles represalias económicas.

Además, como hemos visto anteriormente, la dependencia de países con contextos políticos inestables también supone un evidente riesgo para asegurar el suministro.

Control de la tecnología

La propiedad intelectual y el conocimiento técnico en la fabricación de baterías son áreas de competencia estratégica.

China, que es el principal país líder en la tecnología de baterías, cuenta con una ventaja geopolítica muy grande respecto al resto de competidores debido a que ha invertido masivamente en la construcción de instalaciones de fabricación de baterías a gran escala, lo que le ha permitido producir un volumen considerable de baterías a un costo más bajo por unidad. Esta eficiencia en la producción ha impulsado su ventaja competitiva. Además, el gobierno chino y las empresas del país han invertido considerablemente en investigación y desarrollo (I+D) en el campo de las baterías eléctricas. Esto ha permitido avances en tecnologías de baterías, como celdas de iones de litio de próxima generación y baterías de estado sólido. También se ha desarrollado una cadena de suministro altamente integrada para la producción de baterías, desde la adquisición de materias primas hasta la fabricación de celdas y la producción de vehículos eléctricos. Esta integración reduce costes y acelera la innovación. Todo ello ha contado con el apoyo del gobierno chino, que ha proporcionado fuertes incentivos y políticas de apoyo para la industria de vehículos eléctricos y baterías.

Por su parte, Europa debe recuperar el terreno perdido en los últimos años y llevar a cabo políticas y desarrollar líneas estratégicas que permitan acortar la diferencia con el país asiático y mejorar así las condiciones competitivas de los productores europeos.

Rutas comerciales y logísticas

Del mismo modo que es vital para los países asegurarse el acceso al suministro de materias primas clave para la producción de las baterías, lo son también las rutas comerciales y logísticas para el transporte de estas baterías y componentes, que pueden verse afectadas por conflictos y tensiones políticas como pueden ser los bloqueos, aranceles y restricciones políticas, que pueden obstaculizar el comercio y la producción.

Además, sucesos como el acaecido en el Canal de Suez que impidió el transporte de mercancías durante días o la crisis por la falta de contenedores de transporte que tuvo lugar durante el 2022 y este mismo año, que también supuso un grave retraso en el suministro de materias primas y componentes, son riesgos que afectan gravemente a la cadena de suministros del sector, debido principalmente a la globalidad del mismo y a la necesidad de recursos de distintas partes del mundo.

Acceso a energía sostenible

La producción de baterías se beneficia de fuentes de energía limpia y sostenible. Los países que no tienen acceso a fuentes de energía adecuadas pueden enfrentar desafíos en la producción sostenible de baterías.

En este sentido, Europa y, más concretamente España, cuentan con una posición de fuerza y deben aprovechar su ventaja competitiva como para ser considerados como un eje clave en el desarrollo del sector de producción de baterías.

España cuenta con diversas fuentes de energía renovable que tienen una importancia cada vez mayor para la producción de baterías.

Competencia global

La importancia estratégica que la producción de baterías eléctricas que tiene y tendrá para el futuro supone una carrera competitiva entre los países por convertirse en referentes y líderes mundiales, luchando por atraer el mayor número de proyectos para el interior de sus fronteras.

Estos proyectos, más allá de la importancia estratégica de asegurar el suministro de otras cadenas de valor, suponen grandes inversiones para los países, generación de empleo, aumento del producto interior bruto, etc.

Esta feroz competencia puede dar lugar a tensiones y rivalidades geopolíticas, además de conflictos comerciales como el ocurrido entre China y Estados Unidos.

Los riesgos geopolíticos en la producción de baterías eléctricas para la movilidad están relacionados con la interacción compleja entre países, recursos energéticos, rutas comerciales y tecnologías emergentes. La diversificación de fuentes de materias primas y la promoción de la investigación y desarrollo local son enfoques importantes para mitigar estos riesgos y garantizar un suministro confiable de baterías para vehículos eléctricos.

Alternativas energéticas y su papel en la geopolítica

Diversificación geográfica

La diversificación energética ha tomado un papel protagonista en las discusiones sobre el futuro del abastecimiento y la sostenibilidad global, y en este contexto, **las energías renovables, tales como la solar, eólica e hidroeléctrica**, destacan como elementos transformadores.

Estas alternativas energéticas, más allá de su irrefutable aporte ecológico, poseen una característica geopolítica distintiva: **su distribución geográfica**. Mientras que los combustibles fósiles se encuentran en determinadas zonas, dando lugar históricamente a conflictos y rivalidades por su control, las fuentes de energías renovables están presentes en la mayoría de las regiones del mundo.

Esta presencia global y uniforme ofrece a las naciones la oportunidad de autoabastecerse de manera sostenible, limitando su dependencia de importaciones y, en consecuencia, reduciendo el riesgo de tensiones relacionadas con la energía.

Esta transición tiene impacto directo en el avance hacia la movilidad eléctrica, lo que no supone únicamente un cambio en los métodos de transporte, sino que presenta una oportunidad para diversificar las fuentes energéticas a las que se recurre a nivel global.

Durante décadas, la dependencia de los combustibles fósiles ha sido un factor determinante en las relaciones internacionales, generando alianzas, tensiones y, en ciertos casos, confrontaciones directas entre naciones debido a la relevancia del petróleo y el gas en la matriz energética mundial.

El avance tecnológico, impulsado por un firme compromiso con la sostenibilidad en diversos ámbitos de la producción, ha generado una reconsideración de las opciones energéticas a disposición del sector del transporte. El debate sobre la elección más adecuada ha cobrado relevancia, poniendo en primer plano opciones como la electromovilidad basada en baterías, los tradicionales motores de combustión y los emergentes combustibles sintéticos. Cada uno de estos sistemas presenta ventajas y desafíos únicos, reflejando no solo sus capacidades técnicas, sino también sus implicaciones geopolíticas y medioambientales.

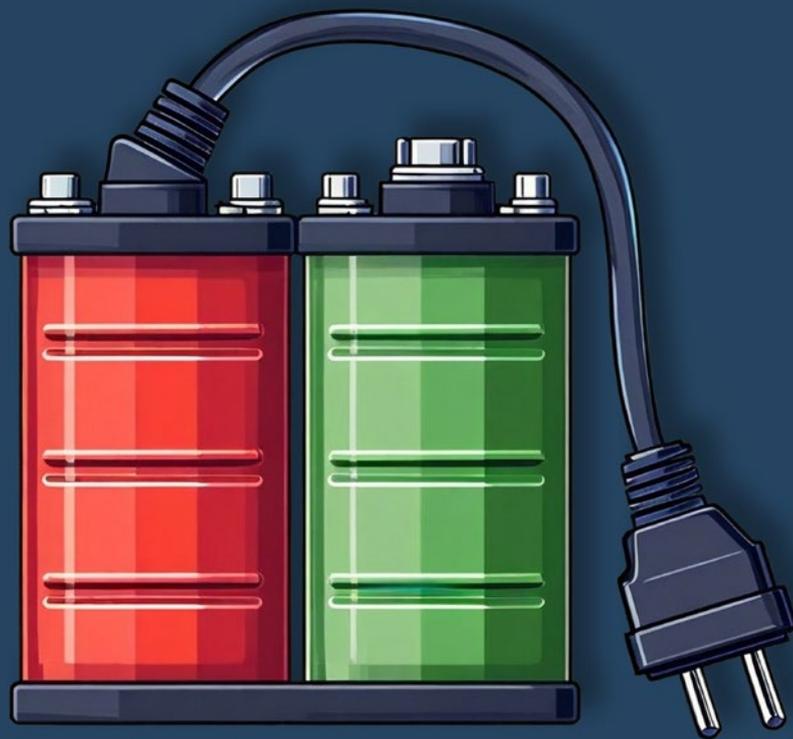
A continuación, se presenta la Tabla 1, que ofrece una comparativa detallada de estas tres alternativas determinantes en el panorama energético actual. Esta tabla permite analizar de forma estructurada las principales características, ventajas y desventajas de cada opción, proporcionando información clave para la toma de decisiones en el contexto energético.

TABLA 1. Comparativa de alternativas en el panorama energético actual

TECNOLOGÍAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BATERÍAS	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de emisiones: Menos CO2 y contaminantes en comparación con vehículos de combustión. • Descentralización: Capacidad de carga desde múltiples fuentes, favoreciendo las energías renovables. • Economía: Generalmente, tienen un coste operativo y de mantenimiento más bajo. • Innovación: Rápida evolución tecnológica que mejora la autonomía y tiempos de carga. • Incentivos: Muchos gobiernos ofrecen incentivos fiscales y subsidios para fomentar su adopción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Minerales escasos: Dependencia de litio, cobalto, níquel, entre otros. • Infraestructura: Requieren desarrollo de red de carga. • Autonomía: Aunque está mejorando, la distancia de recorrido puede ser limitada en comparación con combustibles líquidos. • Tiempo de recarga: Aunque hay avances, todavía no se compara con el tiempo de repostaje de combustible.
MOTORES DE COMBUSTIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura establecida: Redes de estaciones de servicio operativas. • Autonomía: Distancias de recorrido generalmente más largas. • Variedad: Amplia gama de opciones y modelos en el mercado. • Tiempo de repostaje: Rápido y eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto ambiental: Emisiones contaminantes y contribución al cambio climático. • Dependencia del petróleo: Fuente de tensiones geopolíticas. • Costos operativos: El combustible y el mantenimiento suelen ser más caros a largo plazo.
COMBUSTIBLES SINTÉTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Neutralidad de carbono: Potencial de ser neutrales en carbono al utilizar CO2 capturado y energía renovable. • Compatibilidad: Pueden ser usados en infraestructuras y motores existentes. • Diversificación: Reducen la dependencia de fuentes de energía fósiles. • Almacenamiento: Facilitan el almacenamiento de energía a largo plazo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desafíos técnicos: En desarrollo y no disponibles a gran escala. • Coste: Actualmente, su producción es más costosa que los combustibles fósiles tradicionales. • Eficiencia: La conversión de electricidad en combustible y viceversa implica pérdidas de energía. • Materia prima: Aunque usan CO2, aún requieren hidrógeno, cuya producción limpia es un desafío.

Si bien Europa tiene un fuerte compromiso con el impulso y desarrollo de la movilidad eléctrica, y por tanto con el avance en el liderazgo en esta industria, existen riesgos y desventajas en todas las alternativas todas presentan retos y desafíos a abordar.

VII. TENDENCIAS



La movilidad eléctrica se está consolidando como uno de los pilares estratégicos fundamentales para reducir las emisiones de CO₂ relacionadas con el transporte. A nivel global, las administraciones, especialmente en Europa, han establecido normativas cada vez más estrictas para reducir las emisiones de los vehículos.

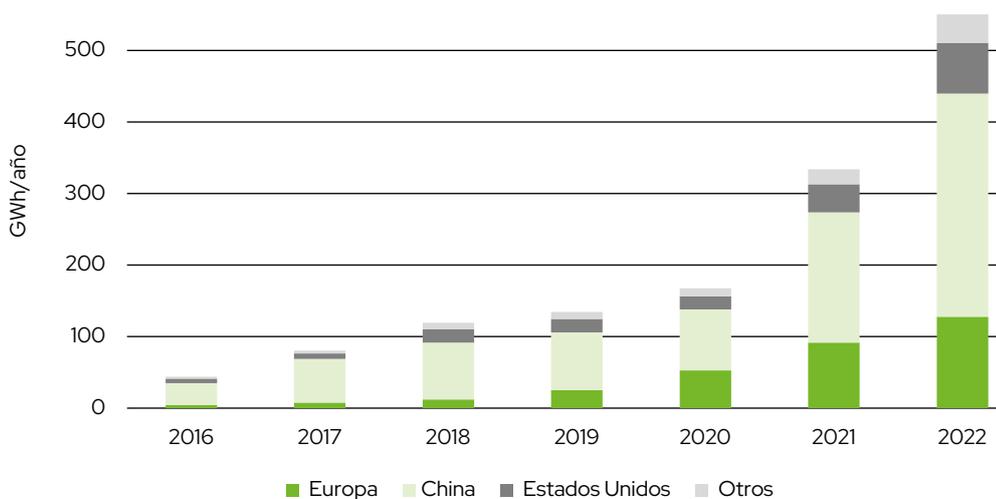
Como se ha ido explicando a lo largo del documento, la evolución de las baterías es uno de los aspectos prioritarios para el despliegue de la movilidad eléctrica, sin embargo, es esencial abordar desafíos relacionados con su producción, la durabilidad de estas, la diversificación de tecnologías y fuentes de energía, así como la regulación y la economía circular para garantizar una transición ecológica justa y sostenible y la respuesta a la creciente demanda energética.

1. Evolución de la demanda de baterías de electromovilidad a nivel mundial

La demanda de baterías para vehículos eléctricos ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, como se puede observar en la Figura 2: Demanda de baterías por región (2016–2022). Este crecimiento ha sido impulsado por avances tecnológicos, la disminución de los costes de las baterías y políticas gubernamentales que fomentan la movilidad eléctrica.

En 2022, el mercado alcanzó un total de 517.9 GWh de baterías instaladas en híbridos, híbridos enchufables y vehículos eléctricos, marcando un crecimiento del 71.8% con respecto al año anterior. Este aumento refleja el avance de la movilidad eléctrica, especialmente en regiones como China, Europa y Estados Unidos, que lideran el desarrollo del mercado, según se muestra en la gráfica.

FIGURA 2. Demanda de baterías por región



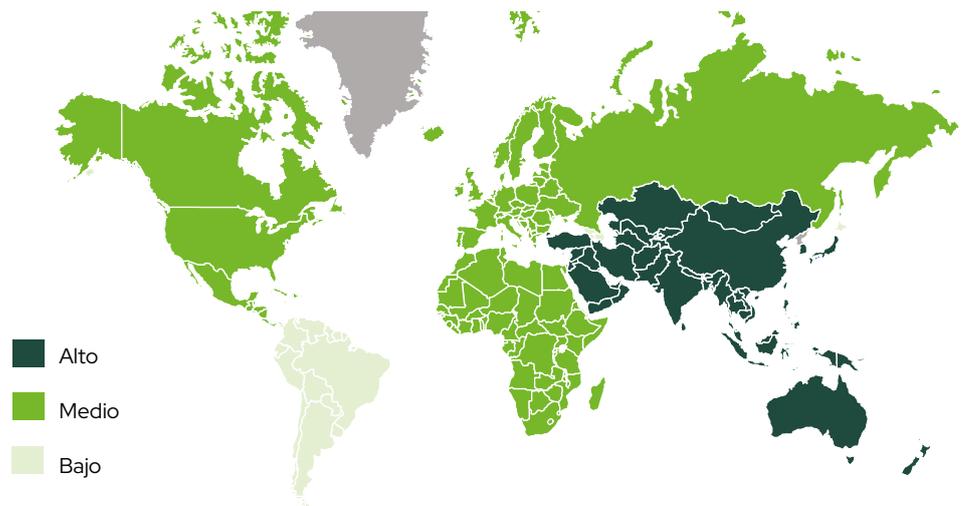
Fuente: International Energy Agency. Global EV Outlook 2023.

A pesar de los desafíos enfrentados durante la pandemia de COVID-19, que afectó temporalmente la cadena de suministro y el crecimiento del mercado, el sector ha continuado expandiéndose gracias a la creciente adopción de vehículos eléctricos y la integración de baterías de iones de litio en aplicaciones energéticas. Como se muestra en la Figura 2, se espera que, a medio plazo, el mercado mantenga un crecimiento sostenido, impulsado por la demanda global de almacenamiento energético y el compromiso de los países con la descarbonización y la transición hacia la movilidad sostenible.

En particular, la región de Asia-Pacífico destaca como líder en la producción de baterías, con países como China, India, Japón y Corea del Sur a la vanguardia. El gráfico ilustra el grado de crecimiento proyectado para las principales regiones en el período 2022-2027, reflejando el avance de tecnologías emergentes, como las baterías de zinc-aire recargables en India, y la consolidación del liderazgo de China en la industria.

India también está desarrollando tecnología de baterías avanzadas, como las baterías de zinc-aire recargables, lo que indica un crecimiento potencial en la demanda de baterías en esta región.

FIGURA 3. Mercado de las baterías – Grado de crecimiento por región, 2022 - 2027



Elaboración Propia. Datos Mordor Intelligence.

A nivel global, las baterías de iones de litio dominan el mercado debido a su alta densidad de energía, bajo mantenimiento y respeto por el medio ambiente. Estas baterías se están utilizando cada vez más en vehículos eléctricos y centros de datos, y se espera que continúen liderando el mercado en el futuro. Además, las políticas como el Pacto Verde de la Unión Europea están impulsando la adopción de vehículos eléctricos y, por lo tanto, la demanda de baterías de iones de litio.

La Figura 3 muestra la evolución proyectada del mercado de las baterías para vehículos eléctricos, expresada en miles de millones de euros (€B), entre 2023 y 2028. Según esta proyección, el volumen del mercado crecerá de 47,7 mil millones de euros en 2023 a 137,1 mil millones de euros en 2028, lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) significativa para este periodo.

Este gráfico también destaca las regiones con el mayor crecimiento y volumen de mercado, proporcionando información clave para comprender las dinámicas del sector en términos de inversión, innovación y demanda futura. Los datos reflejan cómo el mercado de baterías para vehículos eléctricos está liderando la transición hacia una movilidad más sostenible.

FIGURA 4. Mercado de las baterías para el vehículo eléctrico, € B



Fuente: Elaboración Propia. Datos Mordor Intelligence.

1.1. Evolución de la demanda de materiales

El aumento de la demanda de baterías impulsa la demanda de materiales críticos. En 2022, la demanda de litio superó la oferta (como en 2021) a pesar del aumento del 180 % en la producción desde 2017. En 2022, alrededor del 60 % de la demanda de litio, el 30 % del cobalto y el 10 % de níquel fueron para baterías de vehículos eléctricos. Apenas cinco años antes, en 2017, estas participaciones rondaban el 15 %, el 10 % y el 2 %, respectivamente.

La extracción y el procesamiento de estos minerales críticos deberán aumentar rápidamente para respaldar la transición energética, no solo para los vehículos eléctricos sino en términos más generales para mantenerse al día con el ritmo de la demanda de tecnologías de energía limpia.

2. Desarrollo tecnológico y avances en investigación

Aproximadamente el 66 % de las emisiones de CO₂ relacionadas con los vehículos eléctricos proviene de la producción de baterías, según datos de Emissions Analytics, que incluye la extracción de materias primas, su procesamiento y ensamblaje. En contraste, los vehículos de combustión interna emiten solo alrededor del 5 % de sus emisiones en esta etapa. Esto plantea la pregunta de si la producción de baterías realmente contribuye a la descarbonización.

La durabilidad de las baterías es un factor crítico en la evaluación de la movilidad eléctrica. Si las baterías pueden alcanzar una vida útil promedio de 14 años, los vehículos eléctricos pueden ser una solución efectiva para la descarbonización, con una reducción de emisiones del 13 % mayor para 2030 en comparación con baterías de 8 años. Sin embargo, si las baterías duran solo 6 años, los híbridos convencionales podrían ser una mejor opción, con una reducción de emisiones un 10 % mayor para 2030 en comparación con vehículos eléctricos.

En este sentido, el desarrollo tecnológico y la innovación juegan un papel clave para dar respuesta a algunos de los retos ligados a las baterías de electromovilidad que se expondrán a continuación.

2.1. Reducción y nuevos materiales

Los avances en la tecnología de baterías pueden impactar directamente en la reducción de la cantidad de materias primas primarias (en particular litio, cobalto y níquel) necesarias para fabricar una batería para vehículos eléctricos.

La International Energy Agency estima que los avances tecnológicos reducirán a la mitad la cantidad de litio necesaria para fabricar una batería de vehículo eléctrico durante la próxima década, mientras que la cantidad de cobalto necesaria se reducirá en más de tres cuartas partes y la de níquel en alrededor de una quinta parte. Para 2035, el reciclaje también contribuirá con más de una quinta parte del litio y el níquel, y el 65 % del cobalto, necesarios para fabricar una batería nueva.

La variabilidad en el precio y la disponibilidad de minerales críticos también explican algunos de los avances en la química de las baterías de los últimos años, por ejemplo, las baterías LFP, con fosfatos de hierro, que están cobrando fuerza entre algunos fabricantes.

La batería LFP y la convencional de litio-cobalto comparten el mismo principio de funcionamiento. Sin embargo, en las segundas el cátodo se compone por entero de una aleación de litio y cobalto de mayor coste y más tóxica, lo que dificulta su reciclaje.

Por el contrario, las baterías LFP tienen un menor coste de producción, por utilizar materias primas más económicas, mayor estabilidad química y menor degradación. Sin embargo, su densidad energética es inferior y el frío extremo les afecta notablemente.

2.2. Capacidad y durabilidad de las baterías

Además de estos materiales alternativos, la mayoría de grandes fabricantes de vehículos están invirtiendo en baterías de estado sólido, una tecnología que promete mayor seguridad, ya que su electrolito no es inflamable, más densidad energética (por tanto, mayor autonomía) y mayor duración de las baterías.

Los OEMs como Volkswagen o Mercedes entre otros, apuntan que la producción de este tipo de baterías a gran escala, podrán fabricarse por un 40 % del coste de las actuales baterías de iones de litio con electrolito líquido y que aumentarán la batería del vehículo en un 30 % con el mismo tamaño y peso que una actual.

Sin embargo, todavía existen varios desafíos tecnológicos que es necesario abordar, como por ejemplo solventar la baja conductividad del electrolito sólido, encargado de transportar los iones entre el ánodo y el cátodo.

Actualmente existen dos tipos principales de baterías de estado sólido, de electrolito sólido inorgánico y de electrolito orgánico (o polimérico). Cada uno de estos tipos presentan excelente rendimiento en algunos aspectos, pero deficientes o muy pobres en otros. Por ejemplo, las baterías con electrolito sólido a base de sulfuro, tienen grandes prestaciones pero son poco seguras mientras que, las de electrolito sólido polimérico son fáciles de producir, son estables pero sus prestaciones son pobres en comparación con las otras.

2.3. Reciclaje

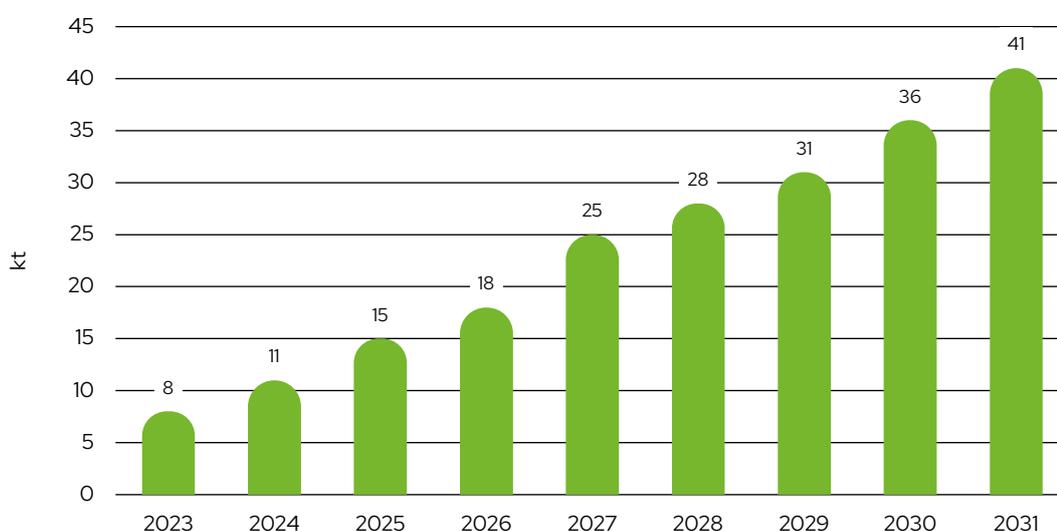
A partir de 2031, la UE exigirá que en la composición de las nuevas baterías el 6% del litio y el níquel sean de origen reciclado y, en el caso del cobalto y el plomo, la cifra será incluso mayor: 16% y 85% respectivamente.

Teniendo en cuenta el tamaño del mercado de baterías para vehículos eléctricos de 2021 (82.000 toneladas) y asumiendo una vida útil de la batería de 10 años, se proyectan c. 40.000 toneladas de minerales reutilizables disponibles para la fabricación de nuevas baterías en 2031 en Europa.

De acuerdo con las estimaciones de Circe, estas 40.000 toneladas de minerales podrían reutilizarse para la fabricación de 200.000 nuevas baterías eléctricas en Europa en 2031 (decalaje 10 años).

La Figura 5 muestra la proyección del volumen de minerales aprovechables en Europa, expresada en kilotoneladas (kt), para el período 2023-2031. Según estos datos, se espera un crecimiento constante en la disponibilidad de minerales clave, pasando de 8 kt en 2023 a 41 kt en 2031.

FIGURA 5. Proyección volumen minerales aprovechables en Europa



Fuente: Nuevos retos del sector de la automoción en España, ANFAC y Sernauto. Circe.

No obstante, existen dos grandes retos que la innovación y el I+D de la industria deben afrontar para que realmente se logren estos objetivos:

- El proceso de reciclado de algunos subcomponentes y materias primas de la batería puede tener un elevado coste que eventualmente repercutiría en el precio final del producto remanufacturado, superando al incluso el de una batería nueva.
- Actualmente, en el proceso de recuperación de algunos minerales se utilizan activos químicos y ácidos contaminantes que impiden que todo el proceso de reciclado tenga un impacto medioambiental nulo.

2.4. Infraestructuras y centros de investigación de baterías eléctricas

Tal y como se pone de manifiesto a lo largo de todo el documento, Europa tiene un fuerte compromiso con el desarrollo de la electromovilidad y por ende con las baterías, de manera que tratar de dar respuesta tanto a los desafíos como a las oportunidades tecnológicas de dichas baterías resulta un aspecto fundamental para posicionarse como referente.

Impulsar la I+D+i en este campo es crítico para garantizar el avance de la industria, de manera que tanto a nivel europeo como en concreto en España, se están llevando a cabo proyectos de estudio para mejorar la autonomía, la seguridad, o la búsqueda de materias primas alternativas entre otros.

Infraestructuras de investigación europeas

La Alianza europea de baterías puesta en marcha por la Comisión Europea tiene como imperativo estratégico la producción de baterías para lograr mantener la competitividad de la industria. A raíz de esta directriz se han desarrollado multitud de proyectos dónde diferentes agentes clave de todos los segmentos de la cadena de valor a nivel europeo están desarrollando importantes avances, entre ellos los centros de investigación que juegan un papel fundamental en dar respuesta a los desafíos de la electromovilidad.

A continuación, en la Tabla 2, se presentan algunos ejemplos destacados de estudios y proyectos en los que están participando centros de investigación europeos.

TABLA 2. Ejemplos de estudios y proyectos de centros de investigación europeos

NOMBRE	LOCALIZACIÓN	ÁMBITO DE ESTUDIO RELACIONADO CON LAS BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD
CEA-Commissariat a L'énergie Atomique Et Aux Energies Alternatives	Francia	Junto al grupo Renault, desarrollo una nueva arquitectura de convertidor de potencia electrónico reduce hasta 30 % la pérdida de energía, mejorando el tiempo de carga también, así como la durabilidad de la batería, utilizando materiales innovadores como el nitruro de galio o el carburo de silicio
Instituto Fraunhofer	Alemania	Diseño, construcción y evaluación de prototipos de celdas ligeras y de bajo coste basadas en azufre con alta capacidad de almacenamiento y que prometen mayor autonomía y seguridad por su alta densidad energética y estabilidad
Bestest	Países Bajos	Uno de los centros que conforman el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC), especializado en analizar el rendimiento de materiales y celdas de batería con fines normativos y regulatorios
Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología	Noruega	Colaboración con entidades del reciclaje para la investigación sobre métodos de reciclaje eficientes, desarrollando métodos de identificación para los materiales de baterías

Infraestructuras de investigación nacionales

En España, como se mencionó en la caracterización del sector, existen varios centros de investigación y desarrollo dedicados a las baterías eléctricas, considerando que factores como la calidad de las baterías y su autonomía son determinantes para impulsar la revolución de la movilidad eléctrica. Estos centros desempeñan un papel clave en el avance hacia una transición energética sostenible y competitiva.

Por este motivo, varios centros nacionales están liderando proyectos e iniciativas orientados al desarrollo de tecnologías avanzadas, la sostenibilidad en la cadena de suministro y la recuperación de materiales críticos. En la Tabla 3, se destacan algunos ejemplos de estos proyectos, que reflejan el compromiso de España con la innovación, así como con el fortalecimiento de su posición estratégica en el contexto europeo. Estos esfuerzos contribuyen no solo al avance tecnológico, sino también a la reducción de la dependencia exterior de recursos clave, alineándose con los objetivos de autonomía estratégica y sostenibilidad:

TABLA 3. Ejemplos de proyectos impulsados desde España

NOMBRE	LOCALIZACIÓN	ÁMBITO DE ESTUDIO RELACIONADO CON LAS BATERÍAS DE ELECTROMOVILIDAD
CIC energigUNE	Vitoria-Gasteiz	Dentro del proyecto HELENA, para la investigación de baterías de estado sólido de haluros para vehículos eléctricos, desarrollo de una nueva metodología para determinar el estrés mecánico, identificando el recubrimiento de litio durante el ciclo de vida de las baterías
Instituto Tecnológico de la Energía	Valencia	Desarrollo de una planta piloto de baterías, Battery Lab, centrado principalmente en las capacidades de recolección, almacenamiento y acumulación de energía
CETIM	A Coruña	Dentro del programa Misiones CDTI, son los coordinadores y principal centro de investigación del proyecto LiOn-HD, liderado por Silicio FerroSolar, para la investigación sobre el uso de materiales estratégicos en baterías de ion-litio de alta densidad energética para la electromovilidad
Battech	Barcelona	Control de las interfaces de una clase de baterías basada en materiales activos de iones de litio y sodio para optimizar, comprender y controlar los comportamientos entre el electrolito y las partículas

Además de los proyectos liderados por centros de investigación, varias compañías y centros tecnológicos están desarrollando estudios e investigaciones centrados en el *remanufacturing* de baterías al final de su vida útil y la gestión de los residuos generados. Estas iniciativas son esenciales para posicionar a España como un mercado líder en electromovilidad, considerando que, actualmente, no existen plantas de tratamiento locales, lo que obliga a enviar las baterías usadas a Francia, Bélgica o Alemania para su reciclaje.

La Figura 6 destaca algunos de los proyectos más relevantes que están en desarrollo. Estas iniciativas abarcan desde la reparación de baterías y su segunda vida hasta proyectos piloto y plantas de reciclaje, reflejando la importancia de fortalecer la infraestructura nacional para el tratamiento de baterías y avanzar hacia un modelo más sostenible y competitivo:

FIGURA 6. Proyectos destacados en remanufacturing y reciclaje de baterías en España

RENAULT	NOVOLITIO
<ul style="list-style-type: none"> • Refactory/Re-energy: proyecto para la reparación de baterías de vehículos eléctricos y el desarrollo de soluciones para la segunda vida de baterías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Primera planta de reciclaje de baterías de VE en la península. • Colaboración con Endesa y Sertego.
RECOBAT	ACCIONA Y ENDESA
<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto de investigación financiado por el CDTI. • Objetivo: desarrollar tecnologías para el reciclado de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos y analizar su viabilidad técnica, económica y medioambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto piloto de reciclado de baterías de vehículos eléctricos. • Objetivo: evaluar la viabilidad técnica y económica del reciclado de baterías de litio de segunda vida en aplicaciones de almacenamiento energético.

Fuente: Elaboración propia.

3. Perspectivas de crecimiento en Europa y España

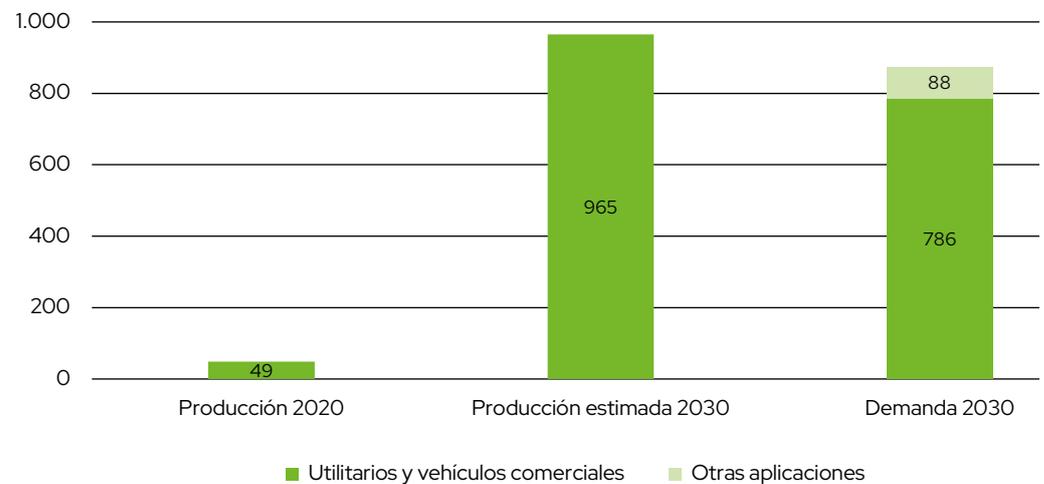
China es el país líder en fabricación de baterías a nivel mundial, sin embargo, Europa está haciendo una apuesta clara por no perder competitividad ni liderazgo en el impulso de la movilidad eléctrica por lo que a continuación se analiza las perspectivas europeas en general y en concreto en España.

3.1. Previsiones de crecimiento del sector

Durante los últimos años, en Europa se han anunciado más de 40 gigafactorías dedicadas a la producción de baterías para la electromovilidad. Este desarrollo permitirá multiplicar la capacidad de producción por 20, alcanzando una estimación de 965 GWh para 2030, tal como se ilustra en la Figura 7. Este nivel de producción se proyecta como suficiente para satisfacer la demanda prevista de 874 GWh en el mismo año, impulsada principalmente por vehículos utilitarios y comerciales.

Sin embargo, estas estimaciones optimistas deben considerarse con cautela, dado que existen riesgos significativos que podrían afectar los plazos y objetivos, como retrasos en la construcción de gigafactorías, fragmentación de la cadena de suministro y decisiones estratégicas de los OEMs. En un escenario de adopción acelerada de vehículos eléctricos (VE), es posible que la demanda de baterías supere ligeramente la oferta anunciada, generando tensiones en el mercado a mediano plazo.

FIGURA 7. Demanda de celdas y oferta (GWh)



Fuente: Centro McKinsey para la movilidad futura.

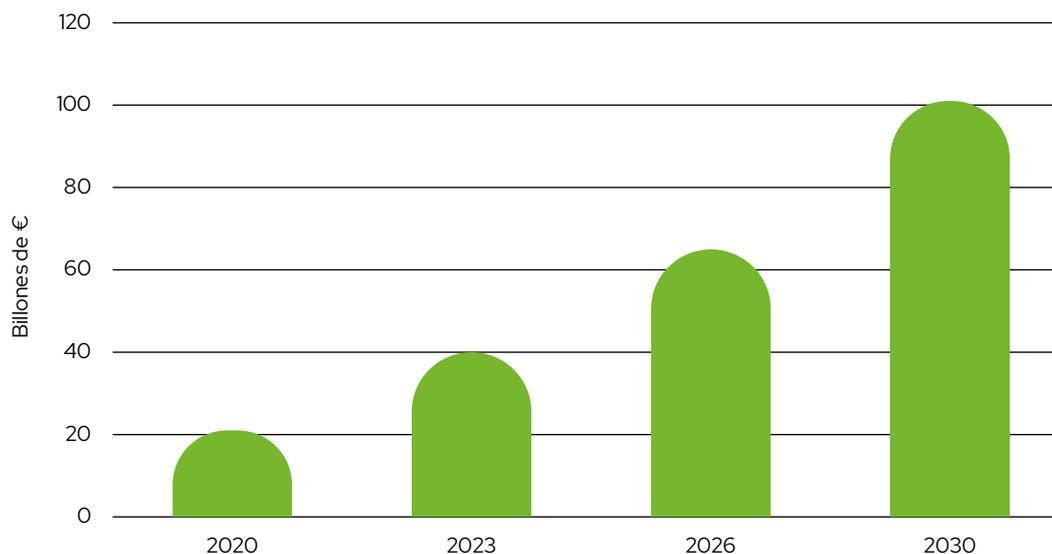
La producción de celdas para baterías se está situando cerca de las plantas de montaje de vehículos. Mientras que hace diez años casi todas las celdas se importaban de Asia, hoy existen centros de producción regionales en Europa del Este, por ejemplo. Además, se pondrán en marcha múltiples plantas en países clave para la producción de vehículos, como Alemania, Reino Unido y Francia, y en entornos con bajas emisiones de carbono, como Noruega y Suecia.

Además, cabe destacar la posición de algunos OEMs que, como resultado de su creciente demanda de celdas para batería, la búsqueda de convertirse líderes de la nueva movilidad y evitar la pérdida de suministro, están buscando áreas de diferenciación desarrollando sus propias celdas.

La producción de materias primas y componentes de baterías sigue la tendencia de ubicación de las plantas de celdas para batería. Sin embargo, solo algunas de las materias primas necesarias, como el níquel, el cobalto, el litio y el grafito, están disponibles para el abastecimiento local en Europa. Por lo tanto, las empresas deben competir a nivel mundial para garantizar los volúmenes necesarios y hacerlo de forma sostenible.

La Figura 8 muestra la estimación del crecimiento anual del mercado de baterías de litio en Europa, que podría alcanzar un valor potencial de 120.000 millones de euros anuales para 2030, frente a los valores significativamente menores observados en 2020 y 2023. Este crecimiento proyectado refleja el impacto de la transición energética y el papel fundamental de las baterías de litio en la movilidad eléctrica y el almacenamiento energético.

Europa, no obstante, enfrenta una dependencia significativa de las importaciones de materias primas, concentrada en pocos países como Australia, Sudáfrica, Gabón, la República Democrática del Congo y China, lo que representa un desafío estratégico. En particular, España ocupa una posición rezagada frente a competidores como Alemania, Francia o Hungría, con una capacidad proyectada de ensamblaje de 90 GWh que la sitúa como la cuarta nación en Europa en este ámbito.

FIGURA 8. Estimación tamaño anual mercado baterías Litio

Fuente: BloombergNEF.

El desarrollo de esta industria implicará una inversión sustancial, estimada en más de 102.000 millones de euros para cubrir la capacidad proyectada de 965 GWh en 2030, consolidando a Europa como un actor clave en el mercado global de baterías.

3.2. Oportunidades en el sector

A pesar de estos desarrollos positivos en el mercado global de baterías, tal y como se ha explicado, España se encuentra en una posición desafiante, ya que no cuenta con fábricas dedicadas a la producción de estos componentes y los proyectos que están sobre la mesa, no compiten en capacidad con otros países. Esto podría representar un riesgo para la industria automotriz española, que representa una parte significativa del PIB y el empleo en el país.

Para mantener la competitividad y liderazgo en el sector, es esencial atraer inversiones en la producción de baterías. Aquellas factorías que logren tener más influencia sobre sus respectivas cadenas de producción se diferenciarán de cara a sus centros de decisión, dado que podrán mantener niveles altos de productividad, a un coste estable e independiente de la coyuntura internacional, y podrán asegurar las entregas en un periodo de tiempo razonable para el comprador final del vehículo.

La presencia de yacimientos de litio en España puede suponer una oportunidad relevante para el sector y para la diferenciación con otros países europeos. La extracción responsable de estos recursos puede conferir a España un factor competitivo frente a terceros.

Actualmente los proyectos planteados, por ejemplo, en el PERTE VEC, están más enfocados en las fases finales de la industria de las baterías, pero existe un potencial para crear nuevos proyectos más vinculados a la extracción, refinado y procesado de materias primas.

La Figura 9 presenta las principales fases de la fabricación de baterías para vehículos eléctricos, destacando los procesos clave: fabricación de subcomponentes, fabricación de celdas y fabricación de packs. Este esquema pone de manifiesto la importancia de cada etapa dentro de la cadena de valor del vehículo eléctrico, así como el estado actual y las previsiones para su desarrollo.

La explotación de los recursos mineros permitiría cubrir la primera fase de esta cadena de valor, impulsando un efecto tractor sobre las líneas de producción de los fabricantes de equipos originales (OEMs) y fomentando la creación de una red industrial cercana a las fábricas de baterías. Este fortalecimiento de la posición europea contribuiría a la consolidación del continente como líder en la producción de baterías y a la reducción de su dependencia de mercados externos.

FIGURA 9. Principales fases de la fabricación de baterías para el vehículo eléctrico (VE)



Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, tal y como se explicó con anterioridad, la industria española puede tener también otra oportunidad competitiva que le brinda el reciclaje, que permitiría reducir su dependencia de importaciones para materias primas clave de la batería y mejorar su competitividad en costes frente a otros competidores.

3.3. Principales desafíos y obstáculos

Teniendo en cuenta las tendencias descritas y la prohibición de la Unión Europea de vender vehículos no neutros en emisiones a partir de 2035, los países europeos están

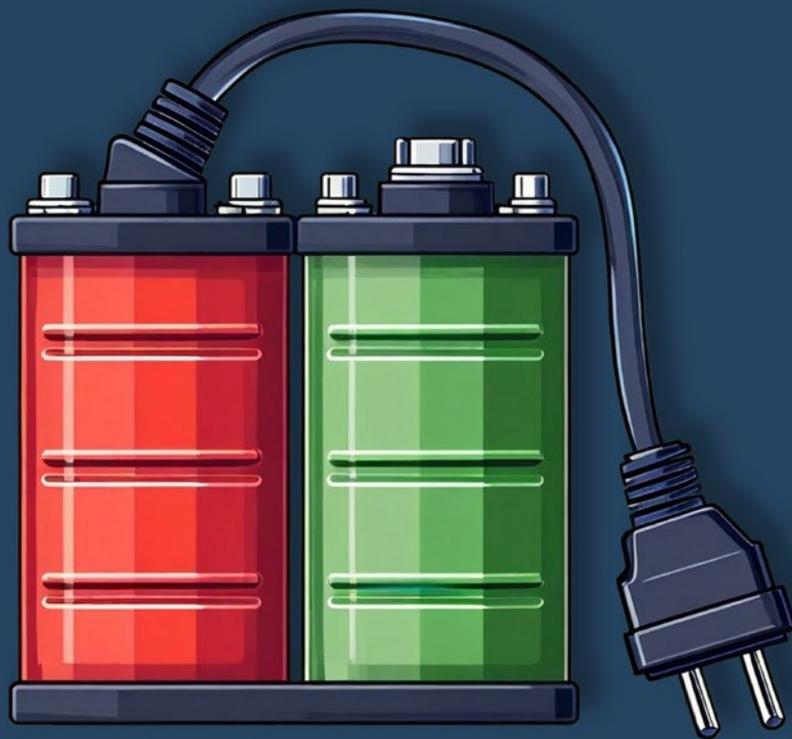
trabajando activamente para desarrollar todas las fases de la cadena productiva asociada al vehículo eléctrico. La Tabla 4 identifica de manera preliminar los principales ámbitos y barreras que deben superarse para garantizar la capacidad y seguridad del suministro, así como para satisfacer la demanda de los consumidores en este nuevo paradigma de movilidad sostenible.

La información recogida en esta tabla subraya los desafíos específicos que enfrentan tanto los agentes públicos como privados en esta transición, desde la infraestructura de recarga hasta la sostenibilidad en la producción de materias primas críticas, resaltando los puntos clave donde se requiere mayor atención y colaboración para asegurar el liderazgo europeo en el sector.

TABLA 4. Ámbitos y barreras preliminares en la cadena de valor del vehículo eléctrico

ÁMBITO	BARRERAS IDENTIFICADAS DE MANERA PRELIMINAR
BARRERAS DE PRODUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial elevada: la creación de gigafactorías y/o la adaptación de instalaciones para su producción requiere grandes inversiones en tecnología y capacidades. • Capacidad de producción: garantizar una capacidad de producción suficiente para satisfacer la creciente demanda de vehículos eléctricos y por tanto de baterías. • Riesgos comerciales: la dependencia de materias primas como el cobalto, puede obstaculizar el asegurar una cadena de suministro estable. • Precio energético: el coste de la electricidad tiene un impacto directo en el coste de la producción de las baterías, influyendo en la viabilidad económica de su fabricación. • Sostenibilidad: desde la extracción de las materias primas, es necesario desarrollar un proceso completo que cumpla los estándares de emisiones y sostenibilidad. • Desarrollo tecnológico: optimizar los procesos productivos, tendrá un impacto tanto en la calidad del producto como en la reducción de los costes, bien en disminución de tiempo de ejecución o de desperdicio de material.
BARRERAS DE PRODUCTO	<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de seguridad: la gestión de la temperatura es uno de los principales retos, las celdas de las baterías deben funcionar dentro de un rango de temperatura específico para preservar el rendimiento y evitar el sobrecalentamiento. • Durabilidad y rendimiento: aligerar el peso de las baterías es un factor crítico para reducir las emisiones de CO₂, mejorando al mismo tiempo la capacidad de autonomía. • Costes: la demanda de materiales ha disparado el precio de los mismos, que redundan directamente en el incremento de los costes de producción. • Reciclaje: el desarrollo de procesos efectivos de reciclaje es clave para abordar los desafíos medioambientales asociados con las baterías y la gestión de residuos.
BARRERAS DE DEMANDA	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbre y desconocimiento: la falta de comprensión sobre la tecnología de baterías y las incertidumbres sobre la seguridad y autonomía de los vehículos eléctricos puede limitar su adopción. • Coste de usuario: incertidumbre en relación con posibles gastos asociados a la adquisición de un vehículo eléctrico y su mantenimiento y por tanto a las baterías. • Precio: existe un desajuste entre el precio del VE (+50%/+100% vs convencional) y el poder adquisitivo de la clase media que opta por postponer el desembolso hasta encontrar precios más competitivos en electromovilidad. • Políticas y regulaciones: existe cierta incertidumbre por parte del usuario que siente ausencia de una política clara de movilidad y estándares ambientales y de seguridad y calidad.

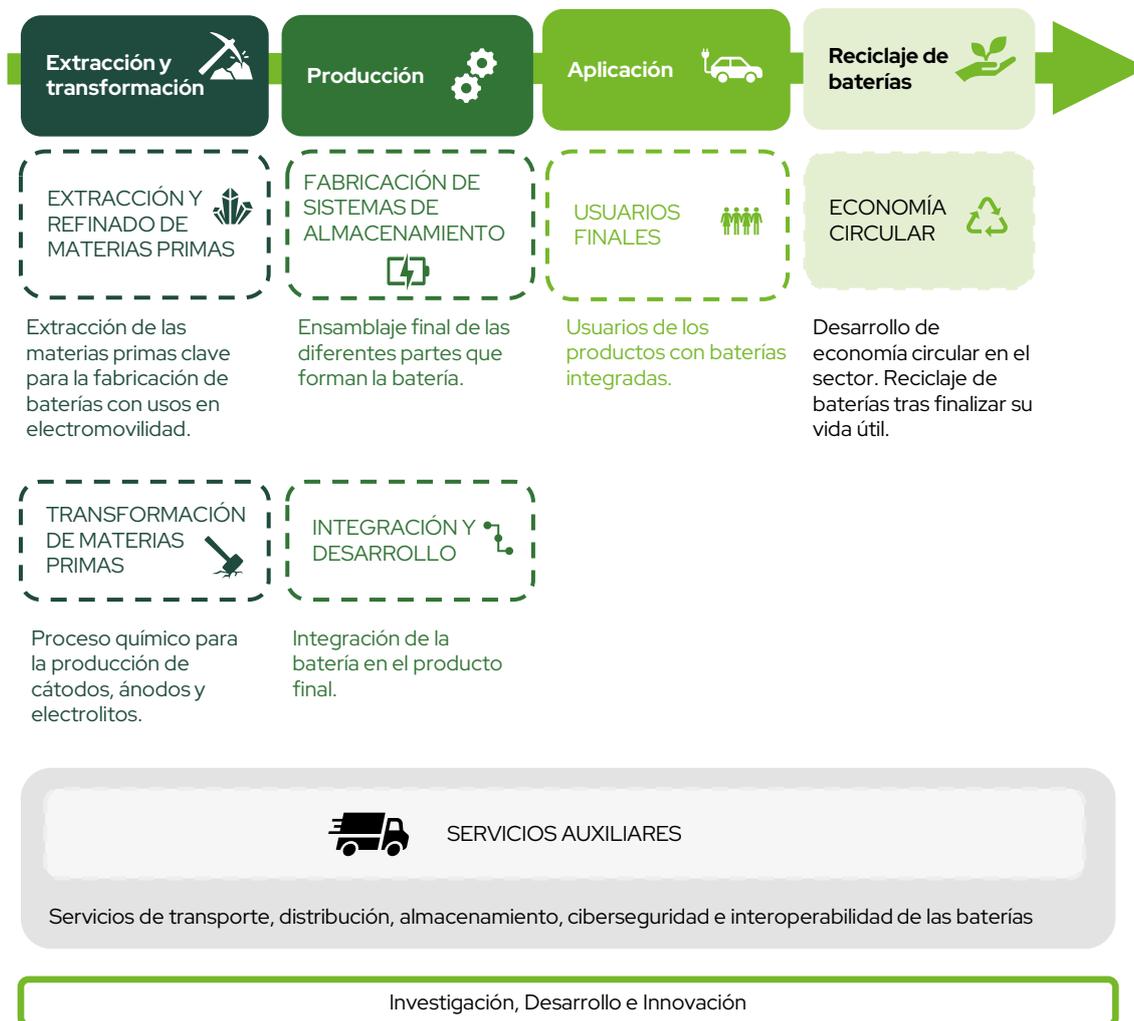
VIII. ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR



La transición hacia la movilidad eléctrica ha experimentado un auge significativo en los últimos años, con un enfoque creciente en la fabricación de baterías eléctricas para impulsar vehículos eléctricos y la electrificación de medios de transporte.

En la Figura 10 se presenta un esquema general de la cadena de valor de la fabricación de baterías para electromovilidad. Este esquema permite visualizar de forma estructurada los principales eslabones que componen esta cadena, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación de celdas y packs, y su integración en vehículos eléctricos.

FIGURA 10. Etapas de la cadena de valor de Baterías Eléctricas



Fuente: Elaboración propia a partir de la Estrategia de Almacenamiento Energético del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

A lo largo de este apartado, se analizará en detalle cada eslabón de la cadena, considerando los procesos, tecnologías, materias primas y condicionantes asociados a las vulnerabilidades identificadas. Este análisis busca proporcionar una comprensión exhaustiva de los desafíos y oportunidades presentes en cada etapa, destacando las áreas críticas para garantizar la sostenibilidad y competitividad del sector.

La cadena de valor se estructura en torno 4 grandes grupos de actividades: la extracción y transformación de las materias primas, la producción de las baterías, el uso y aplicación de las propias baterías y su posterior reciclaje. Además, hay servicios auxiliares como el transporte, la distribución o el almacenamiento que es transversal a varias fases de la cadena de valor, como la investigación, el desarrollo y la innovación, que se puede aplicar en cualquiera de los eslabones de la cadena de valor.

1. Extracción y transformación

En este primer segmento del análisis, se explora uno de los eslabones más importantes de la cadena de valor: la extracción y transformación de materias primas para la fabricación de baterías eléctricas.

Este crucial proceso sienta las bases para la producción de componentes vitales como cátodos, ánodos y electrolitos, cuya calidad y composición influyen directamente en el rendimiento y la eficiencia de las baterías finales.

Se investigará con detenimiento los tipos de materias primas involucradas y su disponibilidad en España.

Comprender los procedimientos de extracción y refinado, así como el proceso químico para la transformación de estas materias primas, es esencial para evaluar las vulnerabilidades y dependencias que podrían impactar significativamente la continuidad y la calidad en la cadena de producción de baterías eléctricas.

Este análisis no solo desentrañará los aspectos técnicos de la extracción y transformación, sino que también resaltaré la importancia crítica de este eslabón en la manufactura de baterías eléctricas y su papel fundamental en la consecución de componentes esenciales para la movilidad eléctrica y el almacenamiento de energía.

Teniendo en cuenta esto, tanto el análisis prospectivo realizado para la identificación de aspectos que condicionan la operativa del eslabón como la opinión de los diferentes expertos consultados, orientan el análisis de este eslabón en las siguientes cuestiones críticas: materias primas, procesos de extracción, refinado y transformación.

Además de dichos procesos y de los condicionantes implicados, el presente apartado tendrá como objetivo analizar las tecnologías involucradas, evaluando a su vez las vulnerabilidades y dependencias existentes para la producción de baterías eléctricas en España y para su autonomía estratégica en este ámbito.

1.1. Extracción y refinado de materias primas

La cadena de valor de las baterías para la electromovilidad comienza con la extracción y refinado de materias primas. Este proceso inicial es fundamental, ya que establece las bases para la creación de baterías eficientes y sostenibles. La extracción implica la identificación y recolección de minerales esenciales como el litio, el cobalto y el níquel, que son vitales para la fabricación de celdas de batería. El refinado sigue a la extracción, siendo

un conjunto de procesos químicos y físicos que purifican estos minerales y los transforman en materiales de alta calidad listos para ser empleados en la fabricación de baterías.

La eficiencia y sostenibilidad de estos procesos de extracción y refinamiento son esenciales para minimizar el impacto ambiental y asegurar un suministro constante de materiales para la industria de la electromovilidad, marcando así el primer y decisivo paso hacia la movilidad sostenible del futuro. A pesar de ello, estos procesos se ven afectados por ciertas debilidades y cuestiones existentes:

- Demanda creciente y presión en el sector minero.
- Capacidad de reciclaje de los materiales.
- Tecnologías de extracción, refinamiento y concentración.
- Disponibilidad de materias primas.
- Regulaciones ambientales.

Teniendo en cuenta la incidencia de este ámbito en la extracción y refinado de materias primas, a continuación, se procede a analizar los procesos involucrados, las tecnologías y materias primas asociadas, así como los condicionantes específicos.

Procesos involucrados

La exploración y evaluación de recursos minerales constituyen las fases iniciales de un proceso que busca identificar y valorar depósitos de minerales con potencial económico. Estas actividades engloban análisis geológicos detallados, perforación de exploración y muestreo exhaustivo para determinar la viabilidad de los yacimientos identificados.

Una vez se ha localizado un depósito mineral con perspectivas positivas, se inicia la etapa de minería. Esta puede llevarse a cabo a cielo abierto o de manera subterránea, dependiendo de la ubicación específica del mineral en cuestión. En la minería a cielo abierto se remueve la capa superficial del suelo y roca para acceder al mineral, siendo una práctica común para materiales como el cobre y el níquel. Por otro lado, en la minería se utilizan túneles y pozos para acceder a depósitos más profundos, aunque es menos frecuente en el caso de materiales destinados a la fabricación de baterías, se emplea en algunos casos.

La etapa siguiente en el proceso es el procesamiento del mineral, una serie de operaciones diseñadas para extraer el material valioso de la roca circundante. En esta fase, el mineral extraído se somete a trituración y molienda, reduciendo su tamaño para liberar el componente valioso. Posteriormente, se lleva a cabo la concentración, utilizando métodos como la flotación, separación magnética o lixiviación, con el objetivo de separar el mineral de las impurezas. Como ejemplo, en el caso del litio, este puede ser extraído de salmueras mediante un proceso de evaporación, seguido de un procesamiento para obtener carbonato de litio o hidróxido de litio.

La etapa final es la refinación, en la cual los concentrados resultantes se someten a procesos específicos para obtener el metal puro o el compuesto deseado. En el caso del cobalto y el níquel, esta refinación a menudo implica procesos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos, asegurando la obtención de productos finales de alta pureza y calidad. Este extenso proceso, desde la exploración hasta la refinación, constituye una cadena integral

en la obtención de recursos minerales esenciales para diversas aplicaciones industriales, incluyendo la fabricación de baterías y otros componentes tecnológicos.

Teniendo en cuenta el proceso descrito, a continuación, se procederá a analizar los aspectos que pueden generar una vulnerabilidad en relación con la disponibilidad de minerales en este sentido: escasez de recursos minerales, dependencia de países terceros, regulaciones ambientales limitantes de la actividad minera.

Tecnologías y materias primas asociadas

En primer lugar, se debe hablar de las materias primas que son necesarias para poder fabricar la batería. La tecnología de baterías más comúnmente utilizada en la movilidad eléctrica es la de ion-litio, y los materiales primarios necesarios para su fabricación incluyen cobre, grafito natural, silicio, titanio, aluminio, niobio, cobalto, litio, manganeso o níquel con las siguientes funcionalidades:

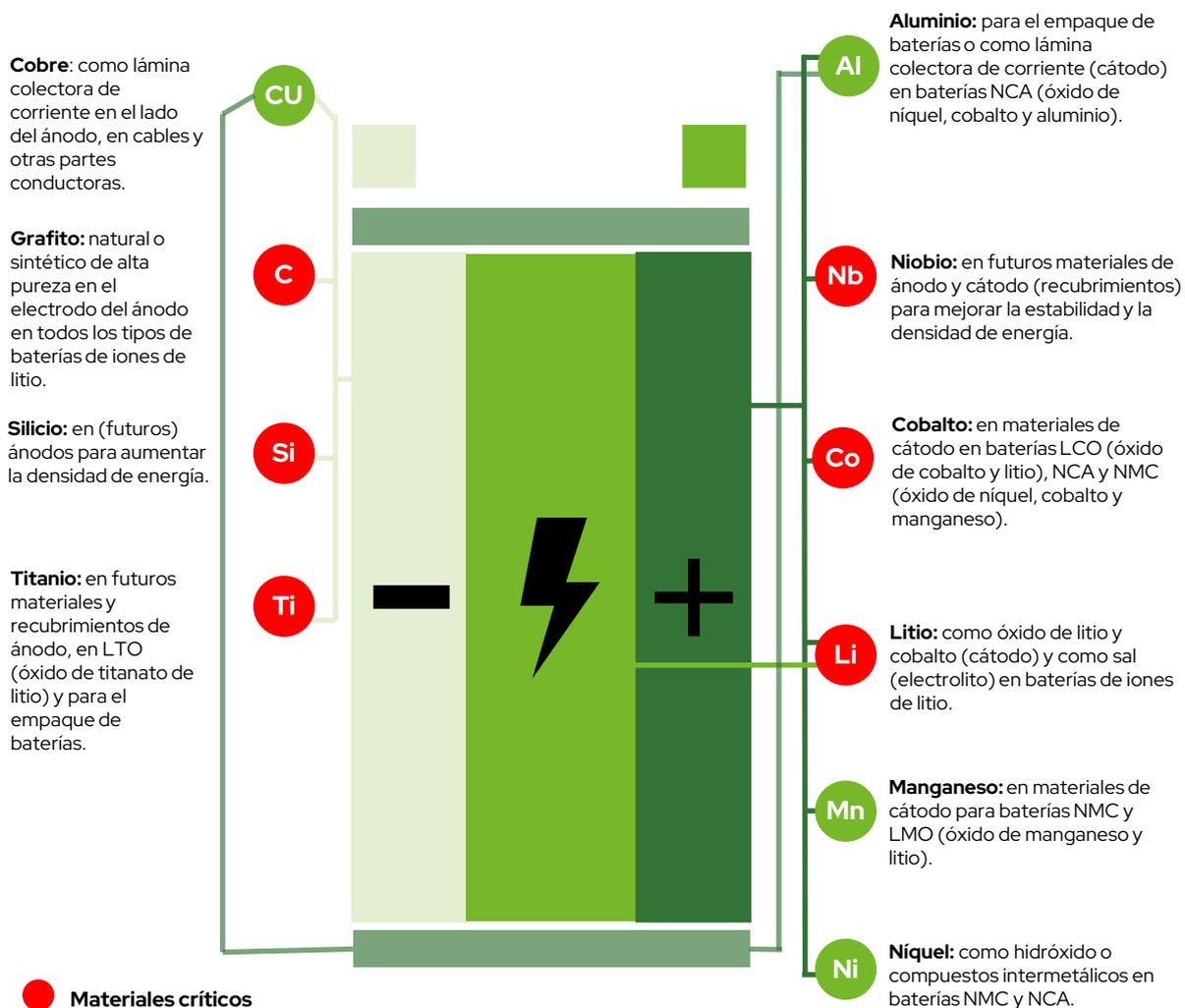
- **Cobre.** Se utiliza en el cableado y en los colectores de corriente de las baterías debido a su excelente conductividad eléctrica.
- **Grafito natural.** Es comúnmente usado como material de ánodo en las baterías de iones de litio debido a su capacidad para intercalar iones de litio.
- **Silicio.** Aunque no es tan común en las baterías actuales, hay investigaciones en curso para usarlo como material de ánodo, ya que podría aumentar significativamente la capacidad de las baterías de iones de litio.
- **Titanio.** Se utiliza en algunos tipos de baterías, como las de litio-titanato, donde el titanato de litio se emplea en el ánodo.
- **Aluminio.** Se usa en el colector de corriente del cátodo en baterías de iones de litio.
- **Niobio.** Aunque no es un material estándar en la mayoría de las baterías, hay investigaciones para su uso en aleaciones y como aditivo para mejorar el rendimiento de ciertos tipos de baterías.
- **Cobalto.** Es un componente clave en muchos cátodos de baterías de iones de litio, aunque su uso está siendo reducido por razones de coste y sostenibilidad.
- **Litio.** Es el componente esencial en las baterías de iones de litio, utilizándose en el electrolito y en los compuestos del cátodo.
- **Manganeso.** Se utiliza en algunos tipos de cátodos de baterías de iones de litio, como en las baterías de iones de litio-manganeso.
- **Níquel.** Es un componente importante en muchos tipos de cátodos para baterías de iones de litio, especialmente en las baterías de níquel-manganeso-cobalto (NMC) y níquel-cobalto-aluminio (NCA).

En este sentido, nos encontramos ante uno de los eslabones más críticos de la cadena de valor de la producción de baterías. No solo a nivel nacional, si no que la Unión Europea se encuentra en una clara situación de desventaja en la producción de celdas de iones de litio. China, junto con África y América Latina, suministran el 74% de todas las materias primas para baterías.

Mientras que China, por sí sola, proporciona el 66 % de las baterías de iones de litio terminadas, actualmente la Unión Europea suministra menos del 1% de las baterías.

La Figura 11 ilustra las materias primas utilizadas en la fabricación de baterías eléctricas, destacando aquellas clasificadas como críticas según la lista de Materiales Críticos (CRMs) de 2020. Entre los materiales críticos se incluyen el cobalto, el niobio, el titanio, el silicio, el grafito natural y el litio, esenciales para garantizar el rendimiento y sostenibilidad de las baterías de iones de litio.

FIGURA 11. Materias primas usadas en las Baterías Eléctricas



Fuente: Elaboración propia a partir de Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU – Comisión Europea.

Asimismo, esta figura subraya la importancia de elementos como el silicio metálico, el titanio y el niobio para mejorar características clave de las baterías, como la densidad de energía, la durabilidad y la seguridad. Estos materiales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de futuros diseños y tecnologías de baterías de alto rendimiento.

Alrededor del 90 % de la producción global de litio proviene de Chile (40 %), Australia (29 %) y Argentina (16 %), principalmente de fuentes de salmuera y espodumena. Por otro lado, China alberga la mayoría de las instalaciones de refinación de minerales de litio de roca dura en el mundo (45 % del total).

Esto La Figura 12 muestra la criticidad y el nivel de riesgo de suministro asociado a las materias primas utilizadas en la fabricación de baterías eléctricas. En particular, se destaca el caso del niobio, que presenta un alto riesgo debido a su concentración en pocos países productores y a las implicaciones geopolíticas asociadas.

Este análisis evidencia la primera gran vulnerabilidad de la cadena de valor: la alta dependencia de materiales provenientes de terceros países. Otros minerales, como el cobalto, el litio y el grafito natural, también presentan niveles significativos de riesgo, lo que refuerza la necesidad de estrategias que minimicen estas dependencias y garanticen la sostenibilidad del suministro para el desarrollo de baterías eléctricas en el futuro.

FIGURA 12. Criticidad y riesgo de suministro de las materias primas usadas en las Baterías Eléctricas



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Comisión Europea. Los materiales en rojo son aquellos señalados como críticos por la Comisión Europea para la fabricación de baterías eléctricas según el estudio Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU.

La extracción de estos minerales y metales involucra diversas tecnologías y maquinaria:

- **Equipos de minería a cielo abierto o subterránea.** Dependiendo de la ubicación del mineral, se puede emplear minería a cielo abierto (para depósitos cercanos a la superficie) o minería subterránea (para depósitos más profundos). Esto incluye excavadoras, perforadoras, camiones de transporte, palas hidráulicas, cargadoras frontales y sistemas de ventilación para minas subterráneas, así como taladores y perforadoras, transportadores y vagonetas y sistemas de apuntalamiento y sostenimiento.
- **Tecnología de procesamiento de minerales.** Incluye trituradoras, molinos, celdas de flotación, separadores magnéticos y gravitacionales y otros equipos para triturar y separar el mineral de la roca circundante.
- **Tecnología de lixiviación.** Utilizada en algunos casos (como en la extracción de cobre y litio) para disolver y extraer el mineral utilizando soluciones químicas. Se puede diferenciar entre la lixiviación en pilas, proceso en el cual el mineral triturado se apila y se rocía con una solución lixivante (ácido sulfúrico para cobre, cianuro para oro) que

disuelve los minerales valiosos y lixiviación in situ, que es la técnica en la cual se inyectan soluciones químicas directamente en el yacimiento para disolver los minerales sin necesidad de extraer grandes cantidades de material.

- **Tecnología de electro-obtención y electro-refinación.** Se usa para purificar ciertos metales (como el cobre) mediante procesos electroquímicos. La electro-obtención es un proceso mediante el cual los iones metálicos en una solución electrolítica se depositan sobre un cátodo, purificando el metal (usado comúnmente para el cobre y el zinc), mientras que la electro-refinación se utiliza para purificar aún más los metales. El metal impuro se convierte en el ánodo y el metal puro se deposita en el cátodo.
- **Equipos de fundición y refinación.** Para purificar y procesar los metales a un estado utilizable. Para ello, se utilizan hornos de fundición, utilizados para fundir el mineral y separar el metal puro de las impurezas (incluyen hornos de reverbero, eléctricos y de inducción); convertidores, que son equipos que soplan aire u oxígeno a través del metal fundido para eliminar impurezas adicionales y refinación pirometalúrgica e hidrometalúrgica, que son procesos que incluyen métodos térmicos y químicos para purificar aún más los metales.
- **Tecnología de medición y análisis.** Equipos para análisis geológicos, mapeo de depósitos minerales, y monitoreo ambiental, como son los espectrómetros y analizadores de fluorescencia de rayos X, georradars y equipos de sismografía, drones y tecnologías LIDAR o sistemas de monitoreo ambiental.

Es importante señalar que España tiene una larga historia en la minería y ha desarrollado una industria minera considerable. El país cuenta con minas de diferentes materiales y ha adoptado tecnologías modernas para la extracción y procesamiento de minerales. Sin embargo, la disponibilidad de tecnología y maquinaria específicas para cada tipo de mineral depende en gran medida de las empresas que operan en el sector y de las inversiones que se realicen en cada área.

Por ejemplo, en el caso del litio, que ha ganado mucha atención debido a su uso en baterías, hay proyectos en desarrollo en España para su extracción y procesamiento. Esto sugiere que hay un interés y una capacidad crecientes en el país para adaptarse a las tecnologías necesarias para la minería de materiales clave en la era moderna.

Finalmente, cabe mencionar que la disponibilidad y uso de estas tecnologías también dependen de factores como la legislación ambiental, la sostenibilidad de las prácticas mineras y la viabilidad económica de los proyectos minero.

Condicionantes para la extracción y refinado de materias primas

Dada las características particulares de las baterías eléctricas y las necesidades de materias primas existentes para la producción de dicho elemento energético a escala industrial y comercial viable, existen una serie de condicionantes específicos para la fabricación de baterías.

En este sentido, a raíz de las condiciones tecnológicas actuales, las regulaciones ambientales y la demanda actual de este tipo de materiales supondrá los siguientes condicionantes para la extracción y transformación de las materias primas utilizadas para la producción de baterías eléctricas:

- **Demanda creciente y presión en el sector minero.** La creciente adopción de vehículos eléctricos y la expansión de energías renovables están impulsando una demanda sin precedentes de minerales críticos como el litio, cobalto, níquel, grafito y tierras raras. Este aumento en la demanda ejerce una presión considerable sobre el sector minero, que se enfrenta a la dificultad de incrementar la producción rápidamente. La complejidad de los proyectos mineros, que requieren años de exploración, desarrollo y permisos, limita la capacidad de satisfacer la demanda inmediata. Además, la competencia global por estos recursos intensifica la presión sobre los productores para asegurar el suministro necesario. A ello, hay que sumarle las dificultades que muchas veces se encuentran las empresas para iniciar las actividades de minería asociadas principalmente a trámites administrativos y burocráticos, lo que retrasa el inicio de las explotaciones y, por tanto, la disponibilidad de estos recursos. Esta es una de las principales vulnerabilidades con las que se encuentra España, que si bien es un país rico en minerales, las explotaciones actuales están bastante limitadas por la falta de permisos y las consecuencias del impacto ambiental que generan.
- **Capacidad de reciclaje de los materiales.** El reciclaje de baterías eléctricas es fundamental para reducir la dependencia de la extracción minera y mitigar los impactos ambientales. Las tecnologías actuales de reciclaje permiten recuperar una parte significativa de los materiales valiosos de las baterías usadas, como el litio, cobalto, níquel y manganeso. Sin embargo, la eficiencia del reciclaje varía y no todos los materiales pueden recuperarse en su totalidad. Mejorar la infraestructura de reciclaje y desarrollar tecnologías más eficientes son esenciales para cerrar el ciclo de vida de las baterías y reducir la demanda de materias primas vírgenes.
- **Tecnologías de extracción, refinamiento y concentración.** Las tecnologías avanzadas de extracción, refinamiento y concentración son cruciales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción de materias primas para baterías. Métodos como la lixiviación en pilas para el litio, la flotación para el níquel y el procesamiento hidrometalúrgico para el cobalto permiten extraer y refinar estos minerales con mayor precisión y menor impacto ambiental. Además, el desarrollo de técnicas innovadoras, como la extracción directa de litio de salmueras geotérmicas y el uso de biotecnología para la bio-lixiviación, promete hacer más eficiente y menos dañino el proceso de extracción.
- **Disponibilidad de materias primas.** La disponibilidad de materias primas esenciales para la producción de baterías varía considerablemente a nivel global. Algunos países poseen vastos recursos minerales, como las reservas de litio en el «triángulo del litio» en Sudamérica (Argentina, Bolivia y Chile) y las reservas de cobalto en la República Democrática del Congo. Sin embargo, la concentración geográfica de estos recursos puede llevar a vulnerabilidades en la cadena de suministro, especialmente en regiones con inestabilidad política o infraestructura limitada. Asegurar un suministro diversificado y estable de materias primas es un desafío estratégico que las empresas deben gestionar cuidadosamente.
- **Regulaciones ambientales.** Las regulaciones ambientales tienen un impacto significativo en la extracción y procesamiento de minerales para baterías. Los gobiernos imponen normas estrictas para proteger el medio ambiente y la salud pública, lo que puede incluir restricciones sobre el uso de ciertos productos químicos, límites de emisiones y requisitos de restauración de tierras. Las empresas mineras deben cumplir con estas

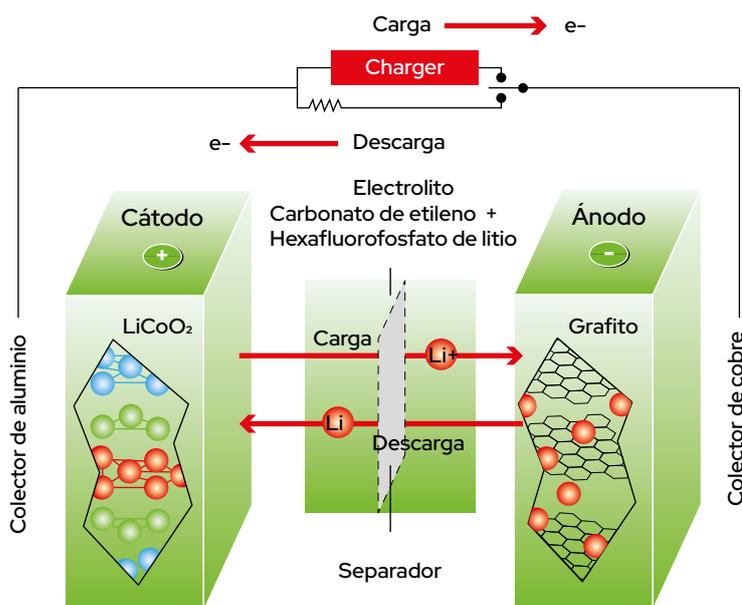
regulaciones, lo que puede aumentar los costes y tiempos de desarrollo de los proyectos. Sin embargo, estas regulaciones también impulsan la innovación en tecnologías más limpias y eficientes, así como en prácticas de minería sostenible. A medida que la demanda de baterías eléctricas sigue creciendo, es probable que las regulaciones ambientales se vuelvan aún más estrictas, lo que requerirá un compromiso continuo con la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en toda la cadena de suministro.

En conclusión, la fabricación de baterías eléctricas depende de una compleja interacción entre la demanda creciente de materias primas, la capacidad de reciclaje, las tecnologías de extracción y refinamiento, la disponibilidad global de recursos y las regulaciones ambientales. Abordar estos desafíos requiere innovaciones tecnológicas, inversiones en infraestructura de reciclaje y un enfoque estratégico para asegurar un suministro sostenible y responsable de materias primas.

1.2. Transformación de materias primas

La combinación del cátodo, el ánodo, el electrolito y el separador y su posterior ensamblaje forman una celda de batería. Varios de estos elementos se agrupan en un módulo, el cual comprende una carcasa, sistemas de refrigeración y conectores. En el contexto de los vehículos eléctricos, los módulos de las baterías se ensamblan en un «paquete de baterías», que incluye una carcasa exterior, un sistema de gestión y control, sensores y un sistema de refrigeración para garantizar su funcionamiento óptimo y seguro. La Figura 13 ilustra el principio operativo de una batería de ion-litio, destacando sus componentes clave y el flujo de energía que permite el almacenamiento y la liberación controlada de electricidad.

FIGURA 13. Principio operativo de una batería de ion-litio



Fuente: Argonne National Laboratory.

Este esquema proporciona una visión clara del funcionamiento interno de las baterías de ion-litio, un componente esencial en los vehículos eléctricos, y subraya la importancia de integrar sistemas avanzados para maximizar la eficiencia, la durabilidad y la seguridad de las baterías en aplicaciones automotrices.

El proceso de transformación de las materias primas se ve afectado por una serie de condicionantes como son:

- Tecnologías de transformación.
- Condiciones de las baterías de ion-litio.
- Baterías con nuevas tecnologías más eficientes.

Teniendo en cuenta la incidencia de estas cuestiones en la transformación de materias primas, a continuación, se procede a analizar los procesos involucrados, las tecnologías y materias primas asociadas, así como los condicionantes específicos.

Procesos involucrados

Dentro de este bloque, encontramos 4 grandes actividades que determinan la producción de los electrodos. El proceso conocido como *mixing*^{3F3F¹¹}, corresponde a la primera etapa para la fabricación de electrodos, en donde se prepara una mezcla homogénea llamada *slurry*^{4F4F¹²}, formado por unos polvos (material activo) que se mezclan con un disolvente (líquido) y un aglutinante creando una masa pastosa. Este procedimiento es clave para la posterior vinculación del material activo a una lámina conductora que transferirá la energía electroquímica a través de los terminales de la celda.

Una vez producido el *slurry*, se lleva a cabo el proceso conocido como *coating & drying*^{5F5F¹³}. La mezcla viaja a través de tuberías hasta la zona de imprimación, donde la mezcla se imprime sobre un sustrato o bobina metálica que se desenrolla hasta el cabezal donde se deposita el *slurry*. Dicha bobina recubierta continúa su proceso a través de un horno de secado donde el disolvente se evapora dejando el material activo adherido a la lámina y distribuida uniformemente. Es necesario que el secado se haga de forma gradual para obtener una buena calidad del electrodo lo cual requiere de hornos que pueden llegar a alcanzar los 80 metros de longitud.

El recubrimiento, que se aplica sobre las dos caras de la bobina, puede ser intermitente o continuo según el formato y tamaño de celda que se vaya a producir. Por lo general el ancho de las tiras imprimadas en la bobina delimitan las dimensiones de la celda y por tanto afecta directamente a la capacidad de producción de la línea.

11. *Mixing* (mezclado): proceso de combinar varios componentes (povos, disolventes y aglutinantes) para formar una masa homogénea utilizada en la fabricación de electrodos.

12. *Slurry* (suspensión o lechada): mezcla pastosa formada por material activo, un líquido y un aglutinante, empleada en la creación de electrodos para baterías.

13. *Coating & Drying* (recubrimiento y secado): proceso donde la mezcla (*slurry*) se aplica sobre un sustrato y luego se seca en un horno para evaporar el líquido, dejando una capa de material adherida al sustrato.

El siguiente paso en el proceso de fabricación de baterías se corresponde con el calandrado o *calendering*^{6F6F¹⁴} que es un proceso de acabado para las bobinas recubiertas. Al igual que el paso anterior, es un procesado de tipo carrete (*roll to roll*^{7F7F¹⁵}), donde las bobinas recubiertas de material activo se trasladan a través de dos rodillos calentados para comprimir el material y así asegurar una mejor adherencia, un espesor constante y la densidad deseada.

Se denomina *slitting*^{8F8F¹⁶} al primer proceso de corte que sirve para delimitar las bobinas a la medida de los electrodos individuales que se utilizarán en el ensamblado final. Es decir, las bobinas procedentes del calandrado (*mother roll*^{9F9F¹⁷}) atraviesan un banco de cuchillas y se cortan en múltiples bobinas más estrechas ajustándose al diseño final (*daughter rolls*^{10F10F¹⁸}).

Tecnologías y materias primas asociadas

Una vez adquiridos los materiales, la producción de cátodos y ánodos requiere tecnología y maquinaria especializada. Para la fabricación de cátodos, se emplean recubridoras de electrodos, máquinas de inyección de electrolito, y equipos de pruebas y control de calidad. En el caso de ánodos, se utilizan cortadoras de electrodos, máquinas de enrollado y prensado, y equipos de análisis de materiales.

- **Producción de Cátodos.** Las recubridoras de electrodos y las máquinas de inyección de electrolito desempeñan roles esenciales en la fabricación de baterías, complementadas por equipos de pruebas y control de calidad que garantizan la excelencia del producto final. En el proceso de recubrimiento, las recubridoras de electrodos aplican una capa de material activo sobre la superficie del electrodo, generalmente compuesta de óxidos metálicos, esta operación debe ser extremadamente precisa ya que de ella depende directamente la eficiencia y el rendimiento de la batería. A continuación, las máquinas de inyección de electrolito distribuyen uniformemente la solución conductora de corriente iónica entre el cátodo y el ánodo, un paso determinante para asegurar la operación homogénea de la batería. Por último, los equipos de pruebas y control de calidad llevan a cabo evaluaciones rigurosas, comprobando resistencia, capacidad y otras propiedades esenciales para confirmar que los cátodos cumplen con los estándares de calidad más altos antes de ser ensamblados en la batería.

14. *Calendering* (calandrado): proceso de acabado que utiliza rodillos calentados para comprimir y homogeneizar la textura de la bobina recubierta, mejorando la adherencia y estableciendo el espesor y densidad deseados.

15. *Roll to roll* (de rollo a rollo): describe un proceso de manufactura continuo donde el material se maneja en forma de bobinas desde el inicio hasta el final del proceso, como en el calandrado y *slitting*.

16. *Slitting* (hendido o corte longitudinal): corte que se realiza para dimensionar las bobinas en anchuras más estrechas según las necesidades de los electrodos individuales para su uso en el ensamblaje de baterías.

17. *Mother roll* (rollo madre): se refiere a la bobina original grande de la que se cortarán tamaños más pequeños. Es la bobina que entra al proceso de calandrado y posteriormente al *slitting*.

18. *Daughter Rolls* (rollos hija): son las bobinas más estrechas que se obtienen al cortar el rollo madre. Estas bobinas tienen las dimensiones adecuadas para ser utilizadas en la fabricación de los electrodos de las baterías.

- **Producción de Ánodos.** Las cortadoras de electrodos son fundamentales en el proceso de fabricación de baterías, ya que se encargan de cortar y dar forma a los electrodos de ánodo con precisión, garantizando la uniformidad necesaria para la consistencia en el rendimiento de las baterías. Posteriormente, se enrollan y comprimen los electrodos para formar la estructura básica del ánodo con las máquinas de enrollado y prensado, un proceso que influye directamente en la densidad energética y la resistencia interna de la batería. Complementado estos pasos, los equipos de análisis de materiales, realizan pruebas para verificar la calidad y composición de los electrodos de ánodo. Esto puede incluir análisis químicos y físicos para garantizar la conformidad con las especificaciones. Para el desarrollo y la investigación de materiales de batería, se utilizan espectroscopios de masas, microscopios electrónicos y otras herramientas de análisis químico y estructural.

Además, existen dos tipos de equipos para la producción de *slurry*; se trata de equipos de producción en lote, normalmente mezcladores planetarios, o equipos de producción continua, que combinan las operaciones básicas de dosificación a lo largo de la cámara de mezclado mediante la alimentación gravimétrica automática.

Sin embargo, al ser un proceso crucial para la fabricación de las baterías, y teniendo en cuenta que las materias primas han sido analizadas en el apartado anterior, la criticidad de este eslabón se centra en la presencia de empresas capaces de llevar a cabo este proceso químico, que si bien actualmente, como se ha mencionado, existen, la creciente demanda de nuevas baterías obligaría a la atracción e implantación de nuevas empresas con experiencia y conocimiento en este ámbito.

Condicionantes para la transformación de materias primas

Las baterías son dispositivos compuestos por dos o más celdas electroquímicas que aprovechan reacciones químicas para generar un flujo de electrones en un circuito externo, lo que se traduce en corriente eléctrica. Cada celda electroquímica se compone de varios elementos fundamentales, que incluyen un contenedor, dos electrodos (ánodo y cátodo), un electrolito, que puede ser líquido o sólido, y una membrana permeable que permite el flujo de iones entre los electrodos y, al mismo tiempo, evita cortocircuitos.

El proceso de generación de corriente se produce gracias a las reacciones de oxidación y reducción entre el electrolito y los electrodos de la celda. Cuando la batería se conecta para su carga, el electrolito cercano a uno de los electrodos inicia la liberación de electrones (oxidación), mientras que los iones próximos al otro electrodo aceptan los electrones (reducción), completando así el proceso de descarga. Este proceso se revierte durante la carga de la batería.

La configuración modular de estas baterías las hace altamente versátiles y adecuadas para su fabricación, permitiendo la combinación en serie para obtener tensiones significativamente elevadas y en paralelo para alcanzar la potencia requerida. Es importante destacar que se debe evitar el uso de corrientes elevadas y bajas temperaturas para prevenir posibles degradaciones debido a reacciones químicas no deseadas.

Las baterías son conocidas por su atractiva densidad de potencia y una eficiencia de ciclo que oscila entre el 60 % y el 80 %, dependiendo de las condiciones de carga y descarga. Esta tecnología ha logrado una amplia adopción a nivel mundial y está conectada a la red eléctrica.

Sea cual sea su formato (*pouch*¹⁹, cilíndrica o prismática), el primer paso a la hora de fabricar una batería es la producción de las dos láminas recubiertas conocidas como electrodos. En esta fase, es de vital importancia evitar la contaminación entre materiales, por lo que las gigafactorías disponen de dos líneas idénticas de producción diferenciadas: una para el ánodo y otra para el cátodo.

Por ello, se deben tener en cuenta una serie de condicionantes que afectan a estos procesos:

- **Tecnologías de transformación.** La disponibilidad de las tecnologías necesarias para llevar a cabo los procesos de transformación es una cuestión clave para el desarrollo de las baterías. Actualmente, existe gran dependencia de los países asiáticos, principalmente China, para poder disponer de los equipos y tecnologías necesarias para llevar a cabo estos procesos. España corre el riesgo además de la falta de talento y conocimiento interno, tanto de las baterías de ion-litio como de nueva generación. Esto supone una criticidad considerable, puesto que el no disponer de know – how en España provoca que esta dependencia sea difícil de reducir en un futuro próximo.
- **Condiciones de las baterías de ion-litio.** Las baterías de ion-litio presentan desafíos relacionados con la densidad energética, la capacidad de almacenamiento y los costes elevados. Aunque tienen una alta densidad de energía en comparación con otras tecnologías de baterías, aún existen limitaciones en términos de la cantidad de energía que pueden almacenar en un volumen o peso determinado. Además, su capacidad de almacenamiento tiende a degradarse con el tiempo y el uso, lo que reduce su eficiencia y vida útil.
- **El coste de producción de las baterías de ion-litio es otro factor crítico.** Los materiales necesarios, como el litio, el cobalto y el níquel, son costosos y su extracción y procesamiento tienen implicaciones ambientales y económicas significativas. Las complejas cadenas de suministro y la necesidad de instalaciones de fabricación especializadas también contribuyen a los altos costes. Es necesario encontrar soluciones más eficientes y resolver las vulnerabilidades asociadas a la extracción y suministro de materias primas, puesto que la estructura de costes actual de las empresas para desarrollar las baterías en España ya ha provocado en diversas ocasiones la pérdida de proyectos en favor de otros países. Esta situación supone una criticidad al no crecer en el desarrollo de baterías y perder posiciones frente a otros países como productores.
- **Baterías con nuevas tecnologías más eficientes.** Las nuevas tecnologías en baterías buscan mejorar significativamente las condiciones mencionadas anteriormente. Las baterías con cátodos de fosfato de hierro y electrolitos líquidos ofrecen una reducción del 30 % en costes y un aumento del 50 % en capacidad de almacenamiento. El fosfato de hierro es un material más abundante y menos costoso que el cobalto y el

19. Formato *pouch* (formato de bolsa): se refiere a un tipo de batería encapsulada en una carcasa flexible, similar a un paquete o bolsa, hecha de lámina de aluminio laminada.

níquel, lo que reduce los costes de materiales. Además, las baterías con estos cátodos tienen una vida útil más larga y son más seguras, ya que son menos propensas a sobrecalentarse y sufrir fallos térmicos.

- **El uso de electrolitos líquidos también mejora la eficiencia de las baterías.** Estos electrolitos facilitan una mejor conductividad iónica y una mayor estabilidad química, lo que contribuye a un mejor rendimiento general y una mayor capacidad de almacenamiento. Las nuevas tecnologías también están desarrollando celdas de estado sólido, que reemplazan el electrolito líquido con un material sólido, aumentando aún más la densidad de energía y mejorando la seguridad y la durabilidad de las baterías.

En conclusión, las baterías, fundamentales por su capacidad de generar corriente eléctrica mediante reacciones químicas, enfrentan desafíos significativos relacionados con la tecnología de transformación, las condiciones específicas de las baterías de ion-litio y los costes de producción. Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías, como baterías con cátodos de fosfato de hierro y electrolitos líquidos, promete mejorar la capacidad de almacenamiento, reducir costes y aumentar la seguridad y durabilidad. La dependencia tecnológica y los altos costes actuales pueden ser mitigados con estas innovaciones, impulsando una evolución hacia baterías más eficientes y sostenibles.

2. Producción

En el marco de la cadena de valor de fabricación de baterías eléctricas para la electromovilidad, el segundo eslabón crucial es la producción de las propias baterías. Este proceso abarca desde el ensamblaje meticuloso de los *battery packs*^{13F13²⁰} hasta su integración estratégica en una variedad de productos finales, como vehículos eléctricos, patinetes y otros dispositivos de movilidad sostenible.

Teniendo en cuenta esto, tanto el análisis prospectivo realizado para la identificación de aspectos que condicionan la operativa del eslabón como la opinión de los diferentes expertos consultados, orientan el análisis de este eslabón en las siguientes cuestiones críticas: diseño del *battery pack*, condiciones de las baterías y necesidades futuras de las baterías.

Además de dichos procesos y de los condicionantes implicados, el presente apartado tendrá como objetivo analizar las tecnologías involucradas y las materias primas críticas asociadas, evaluando a su vez las vulnerabilidades y dependencias existentes para la producción de baterías eléctricas en España y para su autonomía estratégica en este ámbito.

20. *Battery packs* (paquetes de baterías): conjuntos de celdas o baterías individuales ensambladas juntas para formar una unidad completa que proporciona la energía eléctrica necesaria para diversos productos finales.

2.1. Fabricación de sistemas de almacenamiento

El proceso de fabricación de baterías no se limita únicamente al ensamblaje de sistemas, sino que constituye una operación estratégica que determina la eficiencia y el rendimiento de las baterías utilizadas en la electromovilidad. La Figura 14 describe las dos etapas principales de este proceso: el ensamblado y la validación.

En la etapa de ensamblado, se incluyen actividades críticas como notching, stacking y el ensamblaje de celdas en formato pouch (pouch assembly). Posteriormente, en la etapa de validación, se llevan a cabo procesos esenciales como la formation, el aging y el testing, que garantizan que las baterías cumplan con los estándares de calidad, durabilidad y seguridad necesarios para su integración en vehículos eléctricos.

FIGURA 14. Proceso de fabricación de baterías



Fuente: Elaboración propia a partir de CICenergyGUNE.

Finalizado el bloque de fabricación de electrodos, el proceso pasa a una segunda fase donde se procederá al ensamblado de las celdas.

Estos procesos se ven afectados por ciertas debilidades y condicionantes existentes:

- Complejidad del diseño del *battery pack*.
- Calidad y consistencia de los materiales.
- Eficiencia de los procesos.

Teniendo en cuenta la incidencia de estas cuestiones en los procesos de producción, a continuación, se procede a analizar los procesos involucrados, las tecnologías y materias primas asociadas, así como los condicionantes específicos.

Procesos involucrados

En primer lugar, se lleva a cabo el ensamblado de las celdas (sala seca). Uno de los aspectos más relevantes de esta fase es que debe realizarse en un ambiente seco para evitar que quede humedad en el electrodo, algo que puede conducir a la pérdida de capacidad, el aumento de la degradación o la creación de ácido fluorhídrico. Por ello, los electrodos

pasan por hornos de vacío con el fin de reducir la humedad restante y se trasladan a un entorno controlado climáticamente que garantiza la calidad de las celdas.

Este entorno se denomina sala seca. Este tipo de salas, generalmente, se mantienen en un punto de rocío de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque se están empezando a incorporar temperaturas más bajas a medida que surgen químicas más sensibles a la humedad (NMC811, litio metálico...).

En esta etapa, los electrodos se cortan a medida y se ensamblan en sus carcasas, aunque este proceso varía según el formato de celda (*pouch*, prismática, cilíndrica). En concreto, encontramos tres grandes actividades en este bloque:

- **Notching.** En el caso de las baterías de tipo *pouch*, el siguiente paso se corresponde con un proceso de corte para convertir las bobinas en electrodos individuales para la celda. La máquina encargada del corte (que sigue siendo diferente para la producción del ánodo o el cátodo) desenrolla la bobina y produce electrodos rectangulares con pestañas para su posterior ensamblado. Este proceso de corte puede realizarse por dos tipos de tecnologías: corte mecánico (troquel con cuchillas) y corte por láser. Aunque el sistema mecánico suele reducir el coste del proceso, requiere el afilado y reemplazo regular de la cuchilla. Por su parte, el láser ofrece un mayor nivel de flexibilidad y evita el contacto directo con los electrodos.
- **Stacking.** Tras el segundo corte, llega el proceso de *stacking* o apilamiento de las celdas, que a menudo supone un cuello de botella en el ensamblaje de celdas. Esta es la primera etapa en la que se combinan las líneas de cátodo y ánodo. El propósito es apilar de forma alternada capas de ánodo, separador y cátodo, y del mismo modo dejar al descubierto las pestañas sin recubrir. La metodología más común para esto es el apilamiento en forma de Z, donde el separador se pliega sobre cada capa de electrodo haciendo movimientos en zigzag. La alineación de las capas es fundamental en este proceso, ya que la desalineación puede causar que los electrodos se extiendan más allá del separador, por lo que pueden cortocircuitarse una vez se completa la celda. Otra alternativa es el apilamiento por laminación. Este método une cada elemento por capas (separador/anodo/separador) que posteriormente se apilan junto a las capas del cátodo de manera alternada.
- **Pouch Assembly.** Después de completar el apilado, las pestañas de los electrodos deben unirse a los terminales a través de un proceso de soldadura. Es entonces cuando la celda se inserta en su material de embalaje preformado dejando un borde abierto. El conjunto se llena con electrolito y se sella al vacío a lo largo del borde sobrante. El producto se deja en remojo durante horas antes de ser enviado a la formación, envejecimiento y prueba.

Una vez ensamblada, la celda se somete a una fase de acondicionamiento. La fase de formación, envejecimiento y validación, también conocida como «Formation, ageing and testing» (o «FA&T» en sus siglas en inglés); es la fase crítica en la que se hace una carga inicial a la celda y se evalúan sus características y rendimiento.

La secuencia final, es decir, la pre-carga, desgasificación, formación, envejecimiento a altas temperaturas etc., puede diferir en tiempo, orden y repeticiones según el fabricante. Dependiendo del régimen de prueba las celdas pueden pasar semanas en esta última fase.

Los equipos están compuestos por torres repletas de canales y con sistemas completamente automatizados, que se asemejan a grandes almacenes computarizados. El equipamiento requerido tiene un gran impacto en las dimensiones finales para la planta de producción debido a los altos volúmenes de celdas que se procesan a la vez.

Completada esta última fase, se obtendrá el dispositivo final que podrá ser empleado posteriormente en diversas aplicaciones que precisen de las baterías como componente crítico para su actividad.

Tecnologías y materias primas asociadas

Para llevar a cabo todos estos procesos, se requiere una variedad de maquinaria y equipos especializados, entre los que se destacan:

- **Líneas de montaje automatizadas.** Las baterías se ensamblan en líneas de montaje automatizadas que pueden incluir robots y maquinaria especializada para ensamblar componentes como ánodos, cátodos, electrolitos y separadores.
- **Recubridoras de electrodos.** Aplican recubrimientos de materiales activos (como óxido de litio-cobalto o grafito) a las láminas de los electrodos. España tiene una gran dependencia en este aspecto ya que la tecnología para la aplicación de materiales activos en los electrodos está dominada por empresas asiáticas, principalmente japonesas y coreanas.
- **Cortadoras de electrodo:** se utilizan para cortar los electrodos en formas y tamaños específicos que se ajusten a la geometría de la batería. Esta tecnología es otra vulnerabilidad de la cadena de valor en España, puesto que está muy poco desarrollada y existe gran dependencia externa.
- **Máquinas de enrollado y prensado.** Enrollan los electrodos y separadores de manera precisa para formar las pilas de las baterías y aplican la presión adecuada para asegurar una buena conexión eléctrica.
- **Máquinas de inyección de electrolito.** Inyectan el electrolito en las celdas de la batería. Esta tecnología también supone una criticidad para España dado que es un área con baja presencia en el país.
- **Soldadoras por puntos.** Se utilizan para unir las conexiones eléctricas entre los electrodos y los terminales de la batería.
- **Selladoras y formadoras de bolsas.** Sellan herméticamente las baterías y las encapsulan en bolsas resistentes al calor y al fuego.
- **Equipos de pruebas y control de calidad.** Como espectroscopios de impedancia electroquímica y cámaras climáticas, se utilizan para verificar las características y la calidad de las baterías.

- **Máquinas de carga y descarga.** Se utilizan para realizar pruebas de rendimiento y ciclado en las baterías, simulando su uso real para evaluar su durabilidad y capacidad.
- **Equipos de análisis de materiales.** Para el desarrollo y la investigación de materiales de batería, se utilizan espectroscopios de masas, microscopios electrónicos y otras herramientas de análisis químico y estructural. Estos también suponen una vulnerabilidad en el eslabón pues los instrumentos de alta gama para el análisis y desarrollo de nuevos materiales de batería son generalmente importados de países como Japón, Alemania y Estados Unidos.

Condiciones para la producción de baterías para electromovilidad

La producción de baterías eléctricas para la electromovilidad involucra un conjunto complejo de procesos y tecnologías que aseguran la eficiencia, calidad y rendimiento de los sistemas de almacenamiento.

Desde el ensamblado de celdas en ambientes controlados hasta la fabricación y el acondicionamiento final de las baterías, cada etapa es crucial y requiere maquinaria especializada, control de calidad riguroso y condiciones óptimas de fabricación.

Este delicado proceso se enfrenta a varios desafíos y condicionantes que pueden influir significativamente en su éxito. Estos condicionantes incluyen la complejidad del diseño del *battery pack*, la calidad y consistencia de los materiales utilizados, y la eficiencia de los procesos de producción.

Entender y gestionar estos factores es esencial para garantizar que la producción de baterías satisfaga la creciente demanda del mercado de la electromovilidad, manteniendo al mismo tiempo altos estándares de calidad y rendimiento. A continuación, se analizarán en detalle los condicionantes específicos que afectan la producción de baterías para electromovilidad:

- **Complejidad del diseño del *battery pack*.** El diseño del *battery pack* es una cuestión crítica en la producción de baterías eléctricas. La configuración modular debe optimizarse para lograr una alta densidad de energía, eficiencia térmica y seguridad. Los desafíos en el diseño incluyen la integración eficiente de celdas individuales, la gestión térmica para evitar sobrecalentamientos y la minimización del peso y volumen del pack. Además, debe asegurarse la compatibilidad con diferentes vehículos y dispositivos, lo que añade una capa de complejidad adicional al diseño y ensamblaje.
- **Calidad y consistencia de los materiales.** La calidad y consistencia de los materiales utilizados en la fabricación de baterías son fundamentales para el rendimiento y la durabilidad del producto final. Las variaciones en la pureza de los materiales activos, los electrolitos y los separadores pueden afectar significativamente la capacidad de almacenamiento y la vida útil de las baterías. La disponibilidad de materias primas críticas, como el litio, cobalto y níquel, y la dependencia de fuentes externas pueden representar una vulnerabilidad importante para la producción y la autonomía estratégica de España en este ámbito.
- **Eficiencia del proceso de ensamblaje.** El proceso de ensamblaje de celdas y *battery packs* debe ser altamente eficiente para reducir costes y mejorar la competitividad.

La automatización y la precisión en el ensamblaje son cruciales para asegurar la uniformidad y calidad de las baterías. Cualquier falla o inconsistencia en el ensamblaje puede llevar a problemas de rendimiento y seguridad. Además, la capacidad de escalar la producción para satisfacer la creciente demanda es un desafío que requiere inversiones significativas en infraestructura y tecnología.

La complejidad del diseño del *battery pack* exige innovación constante para mejorar eficiencia y seguridad, aumentando la competitividad global. Mantener alta calidad y consistencia en los materiales asegura la fiabilidad y longevidad de las baterías, mientras que una gestión adecuada de las materias primas reduce riesgos. La eficiencia en el ensamblaje es crucial para reducir costes y mejorar la calidad del producto final. Invertir en tecnologías avanzadas y procesos automatizados es esencial para satisfacer la creciente demanda del mercado.

2.2. Integración y desarrollo

Durante esta fase, los dispositivos fabricados en la fase anterior son dotados de los componentes electrónicos necesarios para satisfacer los requerimientos de su aplicación final, así como el desarrollo de soluciones integradas y aplicaciones para la operación y gestión de los sistemas de almacenamiento en todas sus aplicaciones sectoriales. Además, en esta fase, entra también la integración de las baterías en los vehículos, dando lugar al producto final.

El proceso de integración de la batería en el vehículo es una fase crítica en la fabricación de vehículos eléctricos. Este proceso involucra varios pasos detallados y requiere una coordinación meticulosa entre diferentes equipos de ingeniería y producción.

Procesos involucrados

Este proceso de integración comienza con la fase de diseño y simulación en donde, donde los ingenieros emplean programas avanzados para predecir cómo la batería interactuará con los distintos sistemas del vehículo, enfocándose en la distribución del peso, la eficiencia térmica y la accesibilidad para el mantenimiento. A continuación, en el ensamblaje del paquete de baterías, las celdas se ensamblan en módulos y paquetes, incorporando sistemas de gestión térmica y monitorización del estado de carga, y se someten a pruebas rigurosas para verificar su funcionalidad. La integración mecánica continúa con el montaje de los paquetes de baterías en la estructura del vehículo, buscando una ubicación que optimice el centro de gravedad y garantice la seguridad ante vibraciones y colisiones.

Paralelamente, la integración eléctrica asegura la conexión de los sistemas eléctricos de la batería con el tren motriz y otros sistemas electrónicos, incluyendo la sincronización con el sistema de gestión de baterías (BMS) para regular la carga y prolongar la durabilidad de la batería. Además, se actualiza el software del vehículo para incorporar la gestión de la batería en los sistemas de control, optimizando así la eficiencia energética y la seguridad.

Tras la integración, se realizan pruebas de validación en el vehículo para verificar la seguridad eléctrica, la resistencia al agua, al polvo y la durabilidad bajo diversas condiciones de manejo y climáticas. La calibración es necesaria para alinear el rendimiento de la batería con las condiciones de conducción y maximizar tanto la vida útil de la batería como la experiencia al volante. Finalmente, antes de que el vehículo abandone la línea de producción, se realiza un control de calidad final para asegurar que la integración de la batería cumpla con todos los estándares de calidad establecidos.

Cada uno de estos pasos es crucial para garantizar que la batería funcione de manera segura y eficiente como parte del sistema general del vehículo eléctrico. La integración exitosa resulta en un vehículo que cumple con las expectativas de los consumidores en términos de rendimiento, seguridad y fiabilidad.

Son numerosas las empresas ubicadas en España que se integran en esta fase del eslabón. Desde grandes OEMs²¹ del sector automotriz hasta empresas de ingeniería eléctrica y electrónica encargadas de incorporar soluciones integradas y aplicaciones dentro del *battery pack*.

Tecnologías y materias primas asociadas

La integración y desarrollo de baterías en vehículos eléctricos requiere una variedad de tecnologías avanzadas que abarcan desde el diseño y simulación hasta la validación y control de calidad. A continuación, se detallan las principales tecnologías necesarias para llevar a cabo estos procesos:

- **Software de simulación avanzada.** Programas como ANSYS, COMSOL, y Simcenter permiten a los ingenieros predecir la interacción de la batería con los sistemas del vehículo. Estas herramientas se utilizan para optimizar la distribución del peso, la eficiencia térmica, la gestión de energía y la accesibilidad para el mantenimiento. También ayudan a modelar el comportamiento de la batería bajo diferentes condiciones de carga y descarga.
- **Líneas de ensamblaje automatizadas.** Robots y maquinaria especializada son cruciales para ensamblar celdas en módulos y paquetes. Estos sistemas automatizados aseguran precisión y consistencia en la fabricación, reduciendo errores humanos y aumentando la velocidad de producción.
- **Sistemas de gestión térmica.** tecnologías como enfriamiento líquido, placas de refrigeración y materiales de cambio de fase son esenciales para mantener la temperatura óptima de funcionamiento de las baterías, evitando el sobrecalentamiento y prolongando su vida útil.
- **Sistemas de monitorización del estado de carga (SoC).** Sensores y software de monitorización en tiempo real permiten controlar y gestionar el estado de carga de las baterías, optimizando su rendimiento y seguridad.

21. OEM (Fabricante de Equipamiento Original): empresa que fabrica productos o componentes que son incorporados en los productos vendidos por otra empresa. En la industria automotriz, un OEM puede ser tanto un proveedor de componentes específicos como un fabricante de vehículos completos.

- **Herramientas de montaje de precisión.** Equipos como robots de ensamblaje, sistemas de alineación y herramientas de torque aseguran que los paquetes de baterías se integren de manera segura y precisa en la estructura del vehículo, optimizando el centro de gravedad y garantizando la seguridad ante vibraciones y colisiones.
- **Sistemas de gestión de baterías (BMS).** El BMS es crucial para regular la carga y descarga de las baterías, protegiéndolas contra condiciones extremas y optimizando su rendimiento. Incluye componentes como controladores, sensores de temperatura y voltaje y software de gestión.
- **Software de sincronización y actualización.** Herramientas de programación y actualización de software integran la gestión de la batería en los sistemas de control del vehículo, optimizando la eficiencia energética y la seguridad.
- **Bancos de prueba y simulación.** Equipos como cámaras climáticas, dinamómetros y sistemas de simulación de conducción permiten realizar pruebas rigurosas de las baterías y vehículos bajo diversas condiciones de manejo y climáticas. Estos bancos de prueba ayudan a verificar la seguridad eléctrica, la resistencia al agua y polvo y la durabilidad de las baterías.
- **Sistemas de calibración.** Equipos de calibración aseguran que las baterías y los sistemas del vehículo estén alineados con las condiciones de conducción esperadas, maximizando la vida útil de la batería y la experiencia de manejo.
- **Herramientas de control de calidad.** Tecnologías como escáneres de ultrasonido, sistemas de inspección visual automatizada y equipos de análisis de datos aseguran que cada vehículo y batería cumplan con los estándares de calidad antes de salir de la línea de producción.

Estas tecnologías, combinadas con procesos meticulosos y coordinados, aseguran que las baterías integradas en los vehículos eléctricos funcionen de manera segura y eficiente, cumpliendo con las expectativas de rendimiento, seguridad y fiabilidad de los consumidores.

3. Aplicaciones

El tercer eslabón de la cadena de valor de las baterías eléctricas se centra en las diversas aplicaciones de estas baterías en el ámbito de la movilidad y los distintos tipos de usuarios finales que se benefician de estos productos avanzados. Este eslabón es crucial porque representa el punto donde la tecnología de baterías se encuentra con las necesidades prácticas y diarias de los consumidores y las empresas. A continuación, se describe en detalle:

- **Vehículos Eléctricos (VEs).** Las baterías eléctricas son la piedra angular de los vehículos eléctricos de pasajeros, proporcionando la energía necesaria para el desplazamiento sin emisiones. Estos vehículos son utilizados por particulares que buscan una alternativa más limpia y económica a los vehículos de combustión interna. La popularidad de los vehículos eléctricos está en constante crecimiento, gracias a la mejora de la autonomía y la disminución de los costes de las baterías.

- **Micro-movilidad.** Las baterías eléctricas también alimentan dispositivos de micro-movilidad como bicicletas eléctricas, patinetes, segways, hoverboards^{15F15F²²}, scooters eléctricos y otros vehículos ligeros. Estos son populares entre los usuarios urbanos para viajes cortos, proporcionando una alternativa rápida y flexible al transporte motorizado tradicional.
- **Sistemas de transporte público.** Los autobuses eléctricos y tranvías utilizan baterías eléctricas para su propulsión. Estos sistemas de transporte público con cero emisiones contribuyen a la mejora de la calidad del aire en áreas urbanas y reducen la dependencia de los combustibles fósiles.
- **Vehículos híbridos.** Los vehículos híbridos, como los híbridos enchufables, combinan motores de combustión interna con baterías eléctricas. Las baterías en estos vehículos se utilizan para recorrer distancias cortas con energía eléctrica y reducir las emisiones.
- **Sistemas de compartir vehículos.** Muchos servicios de *carsharing*^{16F16F²³} y *ridesharing*^{17F17F²⁴} utilizan vehículos eléctricos equipados con baterías recargables. Estos sistemas fomentan una movilidad más sostenible en entornos urbanos.
- **Embarcaciones eléctricas.** En aplicaciones marítimas, como embarcaciones de recreo, botes de transporte y ferries, las baterías eléctricas son utilizadas para la propulsión, contribuyendo a la reducción de emisiones y la contaminación en cuerpos de agua.
- **Vehículos de carga eléctricos.** Los camiones eléctricos y vehículos de carga ligera utilizan baterías para transportar mercancías y bienes. Estos vehículos son fundamentales para la logística sostenible y la distribución de mercancías en áreas urbanas.
- **Vehículos de emergencia eléctricos.** Las ambulancias, vehículos de bomberos y patrullas policiales eléctricas son ejemplos de aplicaciones en servicios de emergencia que utilizan baterías eléctricas para movilidad silenciosa y libre de emisiones en áreas sensibles al ruido y la contaminación.

3.1. Usuarios finales

Los usuarios finales representan el destino último de las baterías eléctricas y su diversidad refleja la amplia gama de aplicaciones de esta tecnología transformadora. Estos usuarios son el corazón del mercado de vehículos eléctricos y dispositivos de movilidad, y sus experiencias, necesidades y expectativas impulsan la innovación continua y el desarrollo de productos. Desde individuos que buscan soluciones de transporte personal sostenibles hasta empresas que operan grandes flotas de vehículos comerciales, los usuarios finales son un elemento crítico en la cadena de valor de las baterías eléctricas. Son ellos quienes, a través de su adopción y uso cotidiano de la tecnología, dictan el éxito y la dirección futura de la industria de la movilidad eléctrica.

22. Hoverboards: dispositivos de transporte personal autoequilibrados, equipados con dos ruedas y sensores de giroscopio para mantener el equilibrio.

23. *Carsharing* (compartir coche): sistema que permite a los usuarios alquilar coches por períodos cortos de tiempo, a menudo por horas.

24. *Ridesharing* (compartir viajes): práctica de compartir viajes en un mismo vehículo entre varios pasajeros.

Entender a los usuarios finales no es simplemente una cuestión de ofrecer un producto; es también un compromiso con la mejora continua, la atención a la retroalimentación y la previsión de las tendencias futuras. Con cada segmento de usuario que presenta requisitos únicos y desafíos específicos, la capacidad de una empresa para responder de manera efectiva es lo que diferenciará sus productos en un mercado competitivo. Esto implica una escucha activa y una estrategia centrada en el cliente que vaya más allá de la mera transacción, buscando forjar relaciones a largo plazo y fomentar la lealtad de marca a través de la confiabilidad, el desempeño y el soporte posventa de sus soluciones de baterías eléctricas.

Atendiendo a que el sector que se está analizando es la producción de baterías eléctricas para el mercado de la movilidad, los usuarios finales serán principalmente 5 grandes grupos.

- **Consumidores individuales.** Buscan soluciones de movilidad personal que sean tanto convenientes como respetuosas con el medio ambiente. Estos usuarios valoran la simplicidad, la eficiencia energética y la capacidad de carga rápida que las baterías eléctricas ofrecen.
- **Operadores de flotas.** Ya sean flotas de transporte de pasajeros, servicios de entrega o flotas corporativas, los operadores buscan fiabilidad y costes operativos bajos. Las baterías eléctricas ofrecen una operación más limpia y, a menudo, un coste total de propiedad más bajo en comparación con los motores de combustión.
- **Empresas de servicios públicos.** Para el transporte público, las empresas de servicios necesitan baterías que puedan manejar ciclos de carga y descarga frecuentes, ofreciendo alta durabilidad y rendimiento constante durante el día.
- **Empresas de micro-movilidad.** Estas empresas ofrecen servicios de alquiler de bicicletas eléctricas y patinetes, donde la capacidad de recarga rápida y la alta densidad energética son esenciales para mantener la operatividad y la satisfacción del cliente.
- **Usuarios con necesidades especiales.** Para las personas con movilidad reducida o necesidades especiales, las baterías eléctricas deben ofrecer seguridad, fiabilidad y facilidad de uso para proporcionar una experiencia de movilidad mejorada y autónoma.

En resumen, el tercer eslabón de la cadena de valor conecta los desarrollos técnicos de las baterías eléctricas con las necesidades de movilidad de una amplia gama de usuarios finales. Aquí se hace evidente cómo la tecnología puede transformar la vida diaria, el comercio y las infraestructuras urbanas hacia modelos más sostenibles y eficientes.

Condicionantes para las aplicaciones de baterías para electromovilidad

Este tercer eslabón de la cadena de valor de las baterías eléctricas se centra en las aplicaciones de estas baterías dentro del ámbito de la movilidad, abarcando una diversidad de usuarios finales que se benefician de esta tecnología avanzada. Este eslabón es vital, ya que es el punto donde las innovaciones técnicas en baterías se encuentran con las demandas prácticas y cotidianas de los consumidores y empresas. Desde vehículos eléctricos personales y sistemas de transporte público hasta micro-movilidad y vehículos híbridos, las baterías eléctricas impulsan una transformación hacia modos de transporte

más sostenibles y eficientes. Aún así, existen una serie de condicionantes para las aplicaciones de baterías eléctricas:

- **Capacidad de suministro eléctrico insuficiente.** La infraestructura eléctrica actual puede no ser suficiente para soportar una amplia adopción de vehículos eléctricos, especialmente en áreas donde la red eléctrica es limitada o está anticuada. Esto puede obstaculizar la capacidad de cargar vehículos de manera eficiente y rápida.
- **Rendimiento de baterías.** El rendimiento de las baterías, en términos de durabilidad, autonomía y tiempo de carga, todavía no cumple completamente las expectativas de todos los usuarios. Esto limita su aceptación en el mercado masivo, donde los consumidores comparan estas características con las de los vehículos de combustión interna.
- **Baja penetración del vehículo eléctrico.** A pesar del crecimiento en la producción y venta de vehículos eléctricos, su penetración en el mercado global sigue siendo relativamente baja. Los factores que contribuyen a esto incluyen el alto coste inicial, la limitada infraestructura de carga y la autonomía del vehículo.
- **Escaso desarrollo de infraestructura de carga.** La falta de una infraestructura de carga adecuada y accesible es una barrera significativa para la adopción de vehículos eléctricos. Sin suficientes puntos de carga, especialmente en áreas urbanas y a lo largo de rutas importantes, los vehículos eléctricos son vistos como menos prácticos por muchos consumidores.

Estos condicionantes son críticos porque afectan la capacidad de las baterías eléctricas para satisfacer las necesidades prácticas y diarias de los consumidores y empresas. Además, influyen directamente el éxito de la industria de la movilidad eléctrica en su conjunto. Abordar estos desafíos es necesario para asegurar que la tecnología de baterías pueda alcanzar su máximo potencial y contribuir eficazmente a un futuro de transporte sostenible.

4. Reciclaje de baterías

Una vez las baterías alcanzan el final de su vida útil o cuando no es factible reutilizarlas, se procede a reciclarlas con el objetivo de extraer materiales valiosos. La diversidad en tipos y formatos de baterías hace que los métodos de reciclaje sean variados.

En la actualidad, el foco principal de muchas plantas de reciclaje está en la recuperación de metales preciosos como el cobalto y el níquel. Por otro lado, el reciclaje del litio no ha sido tan rentable económicamente hasta ahora. Sin embargo, esta tendencia podría estar cambiando debido al incremento en el valor del litio, lo que podría hacer más viable su reciclaje.

El sector del reciclaje de baterías de litio está dominado principalmente por China y Corea del Sur, representando juntos alrededor del 70% del reciclaje mundial. La tasa de reciclaje de estas baterías alcanza el 42%. Impulsada por una fuerte demanda interna, China ha ampliado notablemente su capacidad de reciclaje, adoptando tecnologías avanzadas y posicionándose como líder mundial en este campo. Cabe destacar que las baterías que se reciclan en China no solo provienen del mercado local, sino también de diversas regiones globales, incluyendo Europa y América del Norte.

En China, Japón y Corea del Sur, a diferencia de otras regiones, las baterías no son recicladas por entidades independientes, sino por los mismos fabricantes de baterías y materiales, quienes utilizan los materiales reciclados para refabricar componentes como ánodos y cátodos.

En Europa y Estados Unidos, se observa un creciente impulso hacia la inversión en el reciclaje de baterías. Este movimiento se ve estimulado por la introducción de nuevas regulaciones europeas en materia de reciclaje, así como por el incremento en la demanda local de materiales reciclados. Estos factores están conduciendo a un fortalecimiento y expansión significativos del sector de reciclaje de baterías en ambas regiones.

El desafío principal del reciclaje radica en el desmantelamiento total de la batería y la separación de sus componentes, un proceso complejo que podría beneficiarse de la automatización mediante inteligencia artificial. La inclusión de etiquetas, códigos QR o RFID en las baterías facilitaría su identificación y procesamiento automatizado.

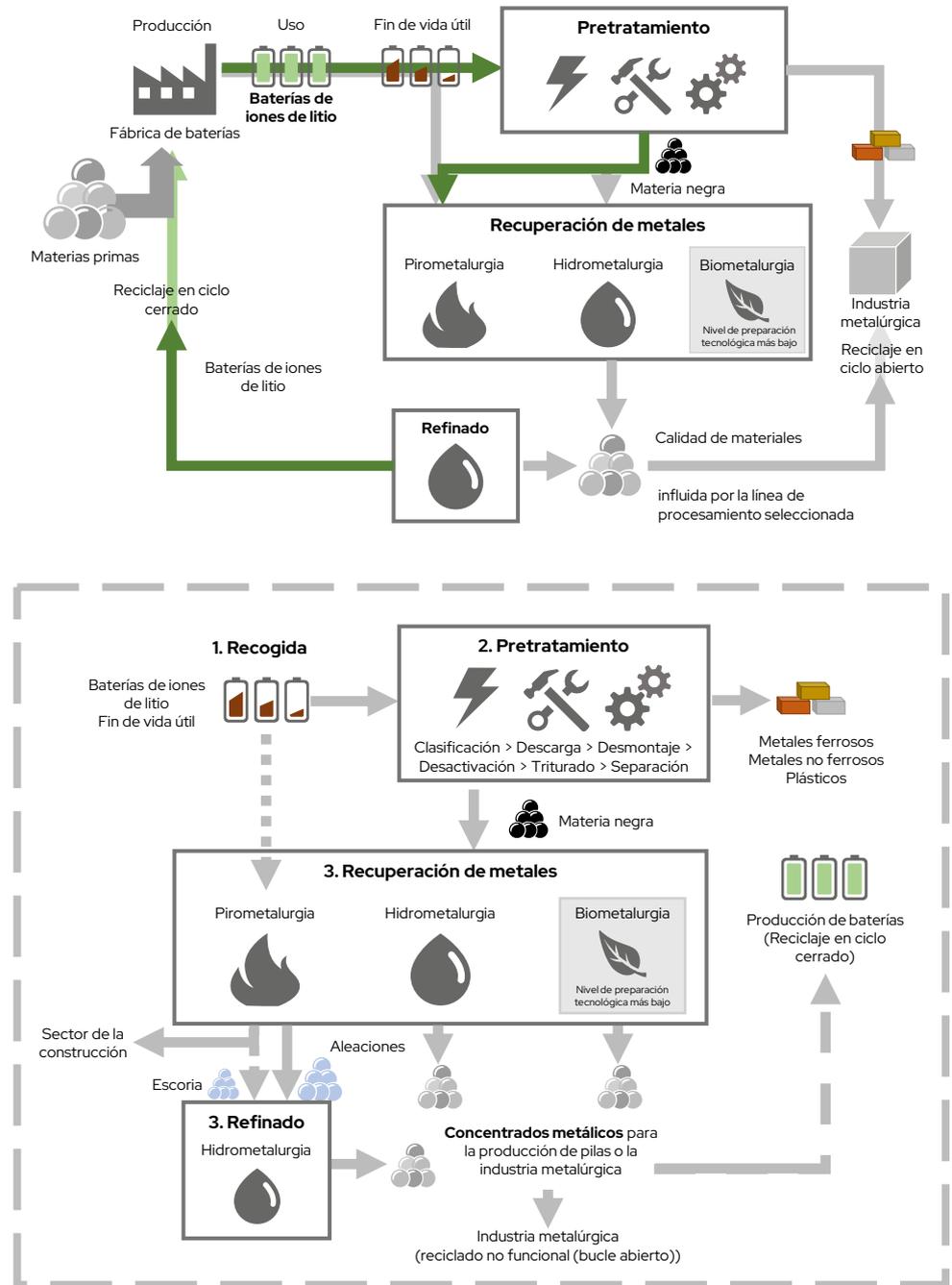
Actualmente, existen diferentes sistemas y normativas para el etiquetado de baterías, aunque estos no están diseñados específicamente para facilitar el reciclaje automatizado. Por ejemplo, para el transporte aéreo de baterías de litio, la International Air Transport Association (IATA) implementa normas que incluyen el etiquetado conforme al sistema de clasificación de sustancias peligrosas de las Naciones Unidas. En Japón, la Sociedad de Ingenieros Automotrices y la Asociación Japonesa de Baterías han propuesto un estándar de etiquetado que facilita la recolección y clasificación de las baterías. Este sistema utiliza el símbolo de «reciclable» y diferencia los tipos de baterías (como plomo, níquel-cadmio, níquel-metal hidruro, y litio-ion) mediante el uso de cuatro colores distintos.

4.1. Economía circular

Los procesos de reciclaje de baterías iónicas de litio se dividen en dos categorías principales: procesos de pretratamiento, que implican cambios físicos como la clasificación y desmontaje de las baterías, y tratamientos de reciclaje, que se centran en transformaciones químicas para recuperar materiales valiosos. La Figura 15 detalla las posibles vías de reciclaje, desde el pretratamiento hasta los procesos avanzados de recuperación de materiales.

Este esquema ilustra cómo estas etapas permiten la reutilización eficiente de componentes clave, como el litio, el cobalto y otros materiales críticos, fomentando la sostenibilidad y reduciendo la dependencia de nuevas materias primas. La implementación efectiva de estas vías es esencial para garantizar la circularidad en la cadena de valor de las baterías y para cumplir con los objetivos de descarbonización y autonomía estratégica.

FIGURA 15. Proceso de reciclaje de las baterías iónicas de litio



Fuente: Elaboración propia a partir de ELSEVIER. Recycling chains for lithium-ion batteries: A critical examination of current challenges, opportunities and process dependencies. Febrero 2022.

Tal y como figura en el esquema, la recuperación de materiales sin pretratamiento resulta a un reciclaje no funcional (circuito abierto), mientras que el pretratamiento seguido de procesos metalúrgicos resulta ser el reciclaje funcional (circuito cerrado). Actualmente, los procesos biometalúrgicos están en vías de desarrollo ya que no se llevan a cabo a escala industrial.

En este contexto, para el reciclaje de baterías eléctricas, los principales condicionantes a alto nivel están determinados por la naturaleza y composición de las baterías, la tecnología disponible para el reciclaje, y la regulación sectorial. Estos factores son decisivos para establecer una cadena de valor efectiva y sostenible:

- **Naturaleza y composición de las baterías.** La diversidad en los tipos y materiales de las baterías afecta directamente los métodos y la eficiencia de los procesos de reciclaje. La presencia de metales valiosos influye en la elección de las técnicas y en la rentabilidad del reciclaje.
- **Tecnología disponible.** La tecnología de reciclaje debe ser capaz de adaptarse a la rápida evolución en el diseño y composición de las baterías. Esto implica una constante actualización y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan un reciclaje más eficiente y menos contaminante, así como la automatización del proceso para manejar grandes volúmenes de baterías.
- **Regulación y políticas sectoriales.** Las normativas y políticas establecen estándares críticos y pueden fomentar la inversión mediante incentivos económicos o restricciones, como las limitaciones a la exportación de desechos, configurando así la estructura de la cadena de valor del reciclaje.

Estos condicionantes definen cómo se organiza la cadena de valor del reciclaje de baterías, influenciando desde la recolección y clasificación inicial hasta los procesos de reciclaje final y la reintroducción de materiales reciclados en el mercado. A continuación, se procede a profundizar en los procesos involucrados, las tecnologías utilizadas y las materias primas asociadas, así como los desafíos y oportunidades específicas de este sector.

Procesos involucrados

La primera parte del proceso de reciclaje de baterías eléctricas involucra diversas técnicas de pretratamiento para garantizar la seguridad y eficiencia del proceso. Estas técnicas incluyen la descarga de baterías para evitar riesgos (eléctricos, térmicos o químicos), la clasificación según su química, el desmantelamiento para separar componentes valiosos, el pretratamiento mecánico que implica la trituración controlada, y la calcinación para eliminar materiales orgánicos. Cada una de estas técnicas desempeña un papel decisivo en la preparación de las baterías para su reciclaje posterior.

- **Clasificación.** En ciertos casos, especialmente con baterías de iones de litio, es importante clasificarlas según su composición química antes de su reciclaje. Esto se debe a que las baterías de iones de litio no suelen tener un etiquetado estándar, lo que dificulta su identificación. Para abordar este problema, se está desarrollando un «pasaporte de batería» que contendrá información sobre la composición química de cada batería, lo que facilitará su clasificación y reciclaje.
- **Descarga.** Antes de reciclar las baterías, es necesario eliminar toda la electricidad que puedan contener para evitar riesgos de explosiones o liberación de gases peligrosos. Esto se logra utilizando técnicas electrónicas o sumergiendo las baterías en líquidos conductores. En algunos casos, la electricidad residual se almacena para su uso posterior en otros pasos del proceso de reciclaje.

- **Desmantelamiento.** Las baterías de vehículos eléctricos son objetos voluminosos y complejos. Antes de reciclarlas, es necesario desmontarlas cuidadosamente para separar los componentes valiosos de los no valiosos. Por ejemplo, el cátodo, que contiene los materiales activos, es uno de los componentes más valiosos, representando prácticamente la mitad del coste de la batería. Sin embargo, también se deben considerar otros componentes como las carcasas de acero o aluminio y los cables de cobre. Hay que tener en cuenta que un desmantelamiento menos destructivo preserva la calidad de los componentes y permite su reutilización. Esta tarea suele ser realizada manualmente por operarios capacitados.
- **Pretratamiento mecánico.** Esta etapa implica triturar los módulos o celdas de las baterías para reducir su tamaño y liberar lo que se llama la «masa negra», que contiene metales valiosos. Sin embargo, este proceso conlleva riesgos, como la posibilidad de explosiones o incendios, así como la liberación de componentes del electrolito que son perjudiciales para la salud y el medio ambiente. Para reducir estos riesgos, algunas empresas realizan el procesamiento mecánico en atmósferas controladas o sumergen las baterías en disoluciones acuosas. Después de la trituración, se deben separar los componentes (metales, plásticos, colectores de corrientes, etc.) según sus propiedades magnéticas o densidades para su posterior procesamiento.
- **Calcinación.** En esta etapa, las baterías se calientan a temperaturas que oscilan entre 150 y 500°C. Esto tiene como objetivo eliminar el material orgánico presente en las baterías y las sustancias que actúan como aglutinantes, como el polivinilideno fluorado (PVDF). La eliminación de estas sustancias facilita la separación de los componentes valioso. Es importante destacar que la calcinación tiene desventajas, como el coste de equipos caros, un alto consumo de energía y la emisión de gases tóxicos, lo que la hace menos favorable desde una perspectiva ambiental.

Una vez se llevan a cabo los procesos de pretratamiento pertinentes, comienzan los procesos de reciclado de baterías, los cuales implican la transformación química y/o la separación de sus componentes principales para obtener productos que puedan ser reutilizados como materia prima secundaria en la fabricación de nuevas baterías (reciclaje cerrado) o en otras aplicaciones (reciclaje abierto). Estos procesos se dividen en dos categorías principales según la técnica principal utilizada (aunque a menudo se combinan ambas): pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos.

- **Pirometalúrgicos.** Los procesos pirometalúrgicos de reciclado de baterías generalmente involucran una etapa de calcinación a temperaturas de alrededor de 1.500°C. Estos procesos son más simples y robustos, requiriendo pretratamientos menos rigurosos. A menudo solo el desmantelamiento de la batería hasta liberar los módulos que se introducen en un horno vertical. En la parte superior del horno, se evaporan los electrolitos, cuyos gases se tratan para evitar la emisión de contaminantes. Los componentes orgánicos de las baterías actúan como combustibles, y el grafito del ánodo actúa como agente reductor. A su vez, se agrega coque como agente reductor. En la parte inferior del horno, se alcanzan las temperaturas más altas, y se obtienen una aleación metálica y una escoria. La aleación se somete a un proceso hidrometalúrgico para recuperar los metales valiosos, mientras que la escoria a menudo se utiliza en la construcción. Aunque estos procesos son flexibles y pueden manejar

diferentes tipos de baterías, tienen desventajas, como altas emisiones de CO₂ y pérdida de litio en la escoria.

- **Hidrometalúrgicos.** Los procesos hidrometalúrgicos utilizan ácidos o bases para extraer y separar los metales del cátodo mediante lixiviación, que es la extracción de elementos sólidos mediante contacto con un líquido. Estos procesos requieren menos energía que los pirometalúrgicos y permiten la recuperación del litio y otros metales de transición. Sin embargo, necesitan más pretratamientos, como tamizado y separación magnética, para aislar la «masa negra» o «materiales activos de la batería», donde se encuentran los metales valiosos.

Después de obtener la masa negra, se lleva a cabo la lixiviación en una o dos etapas, utilizando ácidos inorgánicos como HCl, H₂SO₄ o HNO₃, o ácidos orgánicos, según la eficiencia y la contaminación ambiental deseada. Luego, los metales se separan mediante técnicas como extracción con disolventes y precipitación. La extracción con disolventes es efectiva, pero genera grandes cantidades de residuos líquidos y es costosa, mientras que la precipitación es más simple y a menudo se utiliza en combinación con la extracción con disolventes para obtener compuestos metálicos puros.

Estos procesos de reciclado de baterías tienen ventajas y desventajas, y la elección entre ellos depende de factores como la composición química de las baterías y las consideraciones ambientales y económicas. Es importante destacar la trascendencia del reciclaje de litio también, a causa de la reducción del contenido de cobalto en las baterías y el aumento del precio del litio.

Tecnologías y materias primas asociadas

El reciclaje de baterías eléctricas es un proceso complejo que requiere una amplia variedad de tecnologías y maquinarias especializadas. Desde la clasificación inicial (aunque todavía se estén trabajando tecnologías más avanzadas del campo de la automatización) de las baterías hasta la recuperación final de materiales útiles, cada etapa del proceso de reciclaje depende de equipos específicos diseñados para enfrentarse de forma segura y eficiente los desafíos únicos que presentan estas baterías.

- **Trituradoras de baterías.** Las trituradoras utilizadas en el reciclaje de baterías son máquinas industriales robustas diseñadas para manejar materiales resistentes y potencialmente peligrosos. Utilizan tecnología de corte, trituración o martilleo para descomponer las baterías en piezas más pequeñas. Su función es facilitar la desactivación de la batería, reducir la carga eléctrica residual y preparar los materiales para su posterior procesamiento.
- **Hornos pirometalúrgicos.** Estos hornos operan a temperaturas extremadamente altas, capaces de fundir metales y otros materiales. Son diseñados para mantener temperaturas uniformes y controladas, y para la manipulación de materiales a alta temperatura. Su función es separar los metales valiosos de otros componentes de la batería mediante la fusión.
- **Equipos de separación física.** Estos equipos utilizan diversas fuerzas físicas, como la gravedad, el magnetismo o la vibración, para separar los materiales en base a sus

propiedades físicas para así, clasificar los diferentes componentes de las baterías trituradas, como plásticos, metales y recubrimientos de electrodos.

- **Reactores de lixiviación.** Estos reactores están diseñados para mezclar sólidos triturados con soluciones químicas en condiciones controladas para maximizar la extracción de metales. Con ellos, se disuelven y extraen metales específicos de los materiales de las baterías.
- **Sistemas de filtración y precipitación.** Estos sistemas están diseñados para filtrar y precipitar químicamente los metales disueltos en la solución de lixiviación. Se emplean para purificar y recuperar metales del líquido resultante del proceso de lixiviación.
- **Sistemas de control ambiental.** Estos sistemas utilizan diversas tecnologías para minimizar el impacto ambiental del proceso de reciclaje, como filtros de aire avanzados y sistemas de tratamiento de aguas residuales del proceso. De esta forma, se tratan las emisiones, residuos y efluentes garantizando el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad.

Cada una de las etapas del proceso de reciclaje incorpora tecnología avanzada, diseñada para abordar los desafíos específicos de las baterías eléctricas. La combinación y coordinación de estas máquinas permiten un proceso de reciclaje eficiente y seguro, maximizando la recuperación de materiales valiosos y minimizando el impacto ambiental.

Condicionantes para el reciclaje de baterías para electromovilidad

La eficacia y sostenibilidad de la cadena de valor en el reciclaje de baterías eléctricas están influenciadas por varios factores críticos que determinan la viabilidad técnica y económica de las operaciones de reciclaje. Estos condicionantes, que abarcan desde la composición intrínseca de las baterías hasta el marco normativo en el que operan las instalaciones de reciclaje, son fundamentales para el diseño y la optimización de los procesos. A continuación, se detallan los principales condicionantes que configuran esta cadena de valor:

- **Diversidad en composición y tipología de las baterías.** Las baterías eléctricas presentan una amplia gama de tipos y composiciones, lo que implica desafíos específicos en su reciclaje. La variabilidad en los materiales empleados, desde metales preciosos como el cobalto y el níquel hasta elementos más comunes, pero igualmente importantes como el litio, dicta los métodos de reciclaje que se deben emplear. Esta diversidad impacta directamente en la selección de las tecnologías de reciclaje, afectando tanto la eficiencia en la recuperación de materiales como la rentabilidad del proceso. La dependencia de países terceros para la obtención de estos metales críticos puede plantear riesgos significativos, especialmente si estos países enfrentan inestabilidad política o económica, afectando así la seguridad del suministro y aumentando la vulnerabilidad del sector.
- **Evolución y disponibilidad de tecnología de reciclaje.** La tecnología de reciclaje es un campo que se encuentra en constante evolución, obligado a adaptarse a la creciente diversidad de tipos de baterías y a los avances en el diseño y los materiales de estas. La innovación tecnológica es determinante para desarrollar métodos de reciclaje más eficientes, menos contaminantes y económicamente viables. Sin embargo,

la dependencia de tecnologías avanzadas que a menudo deben ser importadas o que requieren una alta inversión inicial puede ser una vulnerabilidad crítica, especialmente si no existen las capacidades locales para adaptar o mejorar estas tecnologías.

- **Impacto de la regulación y políticas sectoriales.** El marco regulatorio y las políticas de sostenibilidad juegan un papel decisivo en la conformación de la industria del reciclaje de baterías. Las legislaciones no solo establecen los estándares de seguridad y protección ambiental que deben seguirse, sino que también influyen en la estructura económica del sector mediante incentivos como subsidios o tarifas preferenciales y restricciones como las limitaciones a la exportación de desechos electrónicos. Estas políticas son determinantes para fomentar inversiones en tecnologías avanzadas de reciclaje y para garantizar un trato adecuado de los materiales recuperados. No obstante, una regulación cambiante o una política incoherente pueden crear incertidumbre y desincentivar la inversión, representando una vulnerabilidad significativa para el sector.

Es decir, la diversidad de las baterías, la evolución tecnológica en reciclaje y las regulaciones sectoriales son fundamentales para la eficiencia y sostenibilidad del reciclaje de baterías eléctricas y, a su vez, introducen vulnerabilidades que deben ser gestionadas a tiempo. Innovar en métodos y adoptar tecnologías avanzadas mejoran el proceso, mientras que un marco regulatorio favorable impulsa inversiones y asegura un manejo responsable de los materiales recuperados. Estos factores no solo garantizan la viabilidad técnica y económica del reciclaje, sino que también definen las operaciones diarias de las instalaciones e influyen en la planificación a largo plazo y en las estrategias de inversión en el sector.

4.2. Otros aspectos relevantes del reciclaje de baterías

El mercado global de reciclaje de baterías eléctricas está experimentando un crecimiento notable. En 2022, este mercado fue valorado en 3,22 mil millones de dólares, destacando su relevancia creciente en el contexto de la transición energética y la electromovilidad. Se prevé que este mercado experimentará un aumento significativo en los próximos años, alcanzando un valor de 14,89 mil millones de dólares para 2030. Esta expansión refleja una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 21,6% durante el período de pronóstico.

Este crecimiento sostenido se atribuye a la creciente demanda de vehículos eléctricos y a la necesidad de abordar la limitada disponibilidad de materias primas esenciales para la fabricación de baterías eléctricas. La expansión del mercado de reciclaje es un indicador clave de la importancia creciente de las prácticas de reciclaje sostenible, no solo para satisfacer la demanda de materiales, sino también para mitigar el impacto ambiental asociado con la extracción y procesamiento de nuevos recursos.

La recuperación de materiales reciclables de las baterías eléctricas es un proceso integral y complejo, imprescindible para la sostenibilidad en la era de la electromovilidad. Este proceso abarca varios pasos y técnicas, cada uno enfocado en maximizar la recuperación y reutilización de materiales valiosos:

- **Recuperación de metales preciosos y críticos.** La recuperación de litio, cobalto y níquel, metales críticos para la fabricación de nuevas baterías, es un objetivo primordial. Estos metales son vitales para la viabilidad económica y ambiental de la industria de baterías.
- **Recuperación de otros metales.** Además de los metales preciosos, se recuperan aluminio, cobre y hierro, que son componentes fundamentales en la construcción de las baterías.
- **Elementos no metálicos.** El grafito, electrolito, disolventes y polímeros también se recuperan durante el proceso de reciclaje. Estos elementos, aunque no metálicos, son fundamentales para el funcionamiento de las baterías.

Tal y como se ha mencionado previamente, la eficiencia en la recuperación de estos materiales es clave para reducir la dependencia de la extracción de nuevos recursos, minimizar el impacto ambiental y apoyar la sostenibilidad a largo plazo de la industria. Además, la reutilización de estos materiales reciclados puede contribuir significativamente a reducir la huella de carbono asociada con la fabricación de nuevas baterías.

Dentro del marco de los cambios recientes en la industria, ha surgido un aspecto muy relevante: la segunda vida o reutilización de las baterías de iones de litio. Esta faceta adquiere un papel central en la transformación del sector, impulsada por las características singulares de estas baterías y la demanda creciente de soluciones de almacenamiento energético más eficientes y sostenibles.

El desarrollo de una industria paralela enfocada en la segunda vida de las baterías de iones de litio ha sido una respuesta a la necesidad de satisfacer las exigencias de alto rendimiento en la movilidad y la necesidad de reemplazar equipos de almacenamiento antes de que alcancen su vida útil completa. Esto se ha vuelto especialmente relevante en el contexto de la transición hacia fuentes de energía renovable, donde se requiere una gestión óptima de la energía.

Sin embargo, este progreso no ha estado exento de desafíos. La falta de un marco legal sólido inicialmente dio lugar a un panorama diverso de actores en este campo. Empresas pioneras como EcarACCU en Países Bajos y BeePlanet en España han liderado el camino al crear soluciones innovadoras. Pero también ha habido un aumento en la venta de baterías de segunda vida a través de canales en línea, lo que plantea preocupaciones sobre garantías y seguridad.

La reciente revisión de la legislación europea, reflejada en el nuevo Reglamento COM (2020)798/318F18F²⁵, ha marcado un hito al proporcionar una definición y un marco legal para esta industria emergente. Aunque este reglamento aún se encuentra en fase de borrador, su futura aprobación representa un paso importante hacia la regulación y el crecimiento sostenible de la industria de la segunda vida de las baterías de iones de litio.

Es decir, la reutilización de baterías eléctricas abre un abanico de posibilidades en diversos sectores ya que, en la práctica, estas baterías, una vez retiradas de los vehículos

25. Reglamento Europeo de pilas y baterías y sus residuos: https://www.une.org/normalizacion/documentos/CIIAE_baterias.pdf

eléctricos, todavía poseen una capacidad significativa y pueden ser reacondicionadas para su uso en distintos ámbitos. Desde el almacenamiento de energía renovable en el hogar hasta su integración en sistemas de energía a gran escala, estas baterías ofrecen una solución prometedora para almacenar energía de manera eficiente y reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables.

La viabilidad de estos usos secundarios, sin embargo, depende de varios factores clave. Entre ellos, la capacidad de almacenamiento restante de la batería, su fiabilidad y seguridad y la eficiencia en términos de costes son aspectos que se deben considerar. Además, el marco legal recientemente revisado en Europa y otros desarrollos regulatorios en todo el mundo juegan un papel fundamental en la definición de estándares y garantías para estos productos de segunda vida.

A continuación, en la Tabla 5 se detalla la clasificación de los potenciales usos de las baterías eléctricas en su segunda vida. Esta clasificación incluye factores clave asociados a cada uso, posibles aplicaciones, características adicionales y el estado actual de desarrollo en estas áreas. Este análisis proporciona una perspectiva integral de cómo la industria está respondiendo a la oportunidad de reutilizar estas baterías y las diversas formas en que pueden contribuir a un futuro energético más sostenible y eficiente.

TABLA 5. Clasificación de los potenciales usos de las baterías eléctricas [NO EXHAUSTIVO]

USO DE LA BATERÍA	FACTORES CLAVE	POSIBLES APLICACIONES	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES	GRADO DE DESARROLLO
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN EL HOGAR	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de almacenamiento • Eficiencia de la tasa de descarga • Fiabilidad y seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Respaldo durante cortes de energía • Almacenamiento de energía solar • Gestión de la carga de la red doméstica 	<ul style="list-style-type: none"> • Ideal para hogares con sistemas de energía renovable como paneles solares 	<ul style="list-style-type: none"> • En crecimiento, con varios productos en el mercado y desarrollo activo
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA A GRAN ESCALA	<ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidad y modularidad • Longevidad y ciclo de vida • Coste y eficiencia energética 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilización de la red eléctrica • Almacenamiento para energía renovable (eólica, solar) • Apoyo a infraestructuras críticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere sistemas de gestión de baterías avanzados para optimizar el rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Avanzado, con implementaciones en varias redes eléctricas y proyectos de energía renovable
APLICACIONES MÓVILES	<ul style="list-style-type: none"> • Portabilidad y peso • Resistencia a condiciones climáticas extremas • Durabilidad y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Energía para equipos en áreas remotas • Sistemas de energía para eventos al aire libre • Apoyo energético para vehículos recreativos y marinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Deben ser resistentes a variaciones ambientales y de fácil transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Emergente, con desarrollo en nichos específicos y potencial de crecimiento
APLICACIONES INDUSTRIALES Y COMERCIALES	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de carga y descarga a alta escala • Integración con sistemas industriales • Seguridad y cumplimiento normativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de respaldo para operaciones críticas • Almacenamiento para procesos industriales • Integración con micro-redes 	<ul style="list-style-type: none"> • Importante considerar regulaciones y estándares de seguridad industrial 	<ul style="list-style-type: none"> • En desarrollo, con algunos casos de uso implementados y otros en fase experimental
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de reacondicionamiento • Viabilidad para pruebas y experimentos • Contribución a la innovación tecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de ciclo de vida de baterías • Desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento • Pruebas para mejora de baterías existentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede impulsar el avance en tecnologías de baterías y reciclaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Activo, con múltiples proyectos de investigación y colaboraciones entre industria y academia

5. Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares en la cadena de valor de las baterías eléctricas conforman una red compleja y vital que garantiza la eficiencia y seguridad desde el momento en que las baterías salen de la línea de producción hasta que llegan a las manos del consumidor final. Este conjunto de servicios es fundamental para mantener la integridad y el rendimiento óptimo de las baterías, asegurando que los esfuerzos invertidos en las etapas anteriores de extracción, refinamiento y producción se traduzcan en una experiencia de usuario fiable y satisfactoria. Más allá de la mera entrega física, los servicios auxiliares abarcan una

gama de funciones críticas que incluyen la logística especializada, el almacenamiento adecuado, la protección cibernética y la interoperabilidad entre sistemas diversos.

5.1. Gestión integral de los servicios de soporte para baterías

Tal y como se ha mencionado, este eslabón abarca transporte y distribución, almacenamiento, ciberseguridad e interoperabilidad. Los equipos especializados gestionan cada servicio, superando desafíos logísticos, técnicos y regulatorios para garantizar la entrega segura y eficiente de las baterías, así como su operación sin contratiempos en plataformas variadas.

En el contexto de la electromovilidad, los servicios auxiliares deben adaptarse a nuevas demandas tecnológicas y de mercado, lo que implica:

- **Adaptación a nuevas regulaciones.** A medida que las políticas ambientales y de seguridad evolucionan, los servicios auxiliares deben cumplir con regulaciones actualizadas.
- **Integración de tecnologías avanzadas.** Con la creciente complejidad de los vehículos eléctricos y las estaciones de carga, la interoperabilidad y la ciberseguridad se vuelven más críticas.
- **Colaboración y estandarización.** Trabajar conjuntamente con diversos actores del sector para asegurar una transición fluida y eficiente en el uso de las baterías eléctricas.

Los condicionantes de los servicios auxiliares son elementos, impactando desde la logística inicial hasta la entrega final y operación de las baterías en diversos entornos tecnológicos. A continuación, se procede a profundizar en los procesos involucrados, las tecnologías utilizadas y las materias primas asociadas, así como los desafíos y oportunidades específicas de este sector.

Procesos involucrados, tecnologías y materias primas asociadas

Cada uno de estos servicios juega un papel específico y es manejado por equipos especializados que trabajan en sincronía para superar los desafíos logísticos, técnicos y regulatorios. La precisión y la atención al detalle son imperativas en el transporte y distribución, donde se deben cumplir normativas estrictas para el manejo seguro de las baterías. En el almacenamiento, la tecnología y la gestión inteligente preservan la calidad y la vida útil de las baterías. En cuanto a la ciberseguridad, esta se convierte en la guardiana de la privacidad y la funcionalidad, protegiendo la infraestructura crítica de amenazas digitales. Finalmente, la interoperabilidad se asegura de que el producto final pueda operar sin contratiempos en un ecosistema de dispositivos y plataformas cada vez más interconectados, facilitando una experiencia de usuario fluida y accesible.

Esta red de servicios auxiliares no solo soporta el flujo actual de productos, sino que también se adapta y evoluciona en respuesta a las cambiantes demandas del mercado, la aparición de nuevas tecnologías y la constante actualización de las regulaciones internacionales.

Por lo tanto, los servicios auxiliares representan un componente crítico de la cadena de valor que requiere una inversión y enfoque equivalentes al diseño y fabricación de las baterías. Son estos servicios los que finalmente aseguran que la promesa de una movilidad sostenible y tecnológicamente avanzada se cumpla, no solo en la teoría sino en la práctica cotidiana de usuarios y empresas en todo el mundo.

Los servicios auxiliares desempeñan un papel fundamental en la cadena de valor de producción de baterías eléctricas. Estos servicios son necesarios para garantizar que las baterías lleguen a su destino de manera segura, eficiente y confiable, y para respaldar su funcionamiento en diversos dispositivos y aplicaciones.

- **Transporte y distribución.** El proceso de transporte y distribución de baterías eléctricas es una tarea altamente especializada que forma un eslabón crítico en la cadena de suministro de vehículos eléctricos. Las baterías son clasificadas como mercancías peligrosas debido a los materiales químicos que contienen y a su potencial de liberar energía de manera rápida y violenta si no se manejan correctamente. Para manejar estos riesgos, los operadores logísticos deben adherirse a regulaciones internacionales como las del Acuerdo sobre Transporte de Mercancías Peligrosas (ADR), así como regulaciones nacionales y locales específicas.

Las baterías deben ser empaquetadas en contenedores que cumplan con los estándares de resistencia a impactos y vibraciones. La carga de las baterías en los vehículos de transporte requiere una planificación cuidadosa para evitar el sobrecalentamiento y el cortocircuito. Las baterías también están sujetas a regulaciones de control de exportaciones y deben ser transportadas con documentación que certifique su cumplimiento con las normativas aplicables.

Los sistemas de gestión logística modernos se utilizan para rastrear y monitorear el movimiento de baterías en tiempo real, permitiendo una visibilidad completa de la cadena de suministro y la capacidad de responder rápidamente a cualquier incidente que pueda surgir durante el transporte.

España, al estar ubicada estratégicamente en Europa, cuenta con una infraestructura de transporte y distribución bien desarrollada. Esto facilita el movimiento de materias primas, componentes y productos terminados a nivel nacional y a otros países de la Unión Europea. La red de carreteras, ferrocarriles y puertos españoles desempeña un papel importante en el transporte y la distribución eficiente de baterías eléctricas y sus componentes.

- **Almacenamiento.** El almacenamiento de baterías eléctricas requiere condiciones controladas para mantener la integridad y la longevidad de las baterías. Las instalaciones de almacenamiento deben estar equipadas con sistemas de control de clima para mantener la temperatura y la humedad dentro de rangos seguros que prevengan la degradación de las baterías. Además, se implementan sistemas de ventilación para evitar la acumulación de gases potencialmente peligrosos que algunas baterías pueden emitir durante el almacenamiento.

La gestión del almacenamiento también incluye prácticas de seguridad para prevenir incendios, que pueden ser especialmente destructivos cuando involucran baterías de ion-litio. Esto puede incluir la instalación de sistemas de supresión de incendios

especializados, barreras contra incendios y sensores para detectar signos tempranos de mal funcionamiento de la batería. Los procedimientos de manejo seguro se aplican para el movimiento de baterías dentro del almacén, y la capacitación del personal es fundamental para mantener altos estándares de seguridad.

El diseño del almacén también debe permitir la rotación efectiva del inventario, asegurando que las baterías más antiguas se envíen primero, y que las baterías defectuosas o dañadas se identifiquen y se retiren del inventario para su reciclaje o disposición adecuada.

En España, se han establecido instalaciones de almacenamiento seguro para baterías, especialmente en áreas de alta demanda, como el sector de las energías renovables. Estas instalaciones garantizan que las baterías estén disponibles cuando se necesiten y se almacenen de manera segura.

- **Ciberseguridad.** Con el aumento de la digitalización y la conectividad en los vehículos eléctricos y los sistemas de gestión de baterías, la ciberseguridad se ha vuelto una preocupación principal. Los riesgos incluyen no solo la pérdida de datos o el acceso no autorizado a sistemas de control críticos, sino también la posibilidad de manipulación física de las baterías a través de ciberataques.

Las empresas implementan soluciones de ciberseguridad que abarcan desde la protección de hardware hasta software avanzado, como firewalls, sistemas de detección de intrusiones y algoritmos de encriptación. La formación y concienciación del personal es clave para prevenir brechas de seguridad, al igual que las pruebas de penetración regulares para identificar y mitigar vulnerabilidades.

La seguridad de la información y los sistemas operativos se gestiona a través de una infraestructura de seguridad de múltiples capas que protege contra ataques externos e internos. Además, las políticas de respuesta a incidentes están preparadas para actuar rápidamente en caso de una brecha, minimizando el daño y restaurando los sistemas a su operación normal lo antes posible.

La ciberseguridad es un tema de creciente importancia en España, especialmente a medida que se incrementa la digitalización en la cadena de producción y gestión de baterías eléctricas. Las empresas y organizaciones españolas están tomando medidas para proteger sus sistemas de fabricación y gestión de la cadena de suministro contra amenazas cibernéticas, incluyendo la inversión en tecnología y la implementación de prácticas de seguridad de la información.

- **Interoperabilidad.** La interoperabilidad es esencial para asegurar que las baterías eléctricas y sus sistemas asociados funcionen armoniosamente con una amplia gama de vehículos, dispositivos y plataformas de carga. Esto es crítico no solo para la experiencia del usuario, que espera poder cargar su vehículo en cualquier estación de carga, sino también para la eficiencia operativa de las redes eléctricas y los servicios de movilidad.

Para lograr una interoperabilidad efectiva, se promueve la adopción de estándares internacionales que facilitan la compatibilidad entre diferentes fabricantes y sistemas. Esto también implica la colaboración con proveedores de energía y fabricantes de vehículos para asegurar que los nuevos desarrollos tecnológicos sean incluidos y soportados.

La estandarización de conectores de carga, protocolos de comunicación y sistemas de autenticación es fundamental para proporcionar una experiencia de carga sin fricciones. Asimismo, se trabaja en el desarrollo de software que permita la comunicación entre vehículos, estaciones de carga y sistemas de gestión de energía doméstica para optimizar el uso de la energía y permitir funciones como la carga inteligente y la integración con energías renovables.

La infraestructura de transporte, distribución y almacenamiento del país, junto con un enfoque en la ciberseguridad y la interoperabilidad, son factores clave que respaldan esta evolución en la industria de baterías eléctricas en España. Además, en un entorno cada vez más conectado e integrado, la normalización y la interoperabilidad son factores fundamentales que deben considerarse en todas las fases de la cadena. La creciente adopción de redes y tecnologías inteligentes, junto con la gestión y transmisión masiva de datos, resalta la importancia de la ciberseguridad para proteger la integridad de las infraestructuras y la seguridad de los datos y los usuarios.

Condicionantes para los servicios auxiliares de baterías para electromovilidad

En el ámbito de la electromovilidad, los servicios auxiliares afrontan desafíos únicos que deben ser gestionados para garantizar que las baterías eléctricas lleguen de manera segura a su destino y que, a su vez, funcionen de manera óptima. Los condicionantes para estos servicios auxiliares abarcan aspectos regulatorios, tecnológicos y de colaboración, los cuales son esenciales para el desarrollo y la operatividad eficaz de la infraestructura de movilidad eléctrica.

- **Adaptación a nuevas regulaciones.** Las políticas ambientales y de seguridad están en constante evolución, lo que requiere que los servicios auxiliares se adapten continuamente para cumplir con estas normativas. Este condicionante implica una vigilancia y actualización regulares de las prácticas de transporte, almacenamiento y manejo de las baterías para alinearlas con los últimos estándares internacionales y locales. La capacidad para anticipar y responder a estos cambios normativos es necesaria para evitar sanciones, y mantener la confianza y la seguridad del consumidor.
- **Integración de tecnologías avanzadas.** A medida que la complejidad de los vehículos eléctricos y las estaciones de carga aumenta, la necesidad de integrar tecnologías avanzadas se convierte en un condicionante crítico. Esto incluye sistemas de gestión de baterías más sofisticados, soluciones de almacenamiento que puedan mantener y prolongar la vida útil de las baterías, y sistemas de ciberseguridad robustos que protejan contra amenazas digitales cada vez más sofisticadas. La integración efectiva de estas tecnologías asegura que los servicios auxiliares puedan mantenerse al día con las demandas técnicas del sector y ofrecer soluciones que mejoren la funcionalidad y eficiencia de las baterías en la movilidad eléctrica.
- **Colaboración y estandarización.** La colaboración entre los diferentes actores del sector, incluidos fabricantes de baterías, proveedores de servicios, y reguladores, es esencial para establecer estándares comunes que faciliten la interoperabilidad. Los condicionantes aquí implican trabajar conjuntamente para definir y adherirse a protocolos que permitan que las baterías se utilicen de manera segura y eficiente a través de

diferentes plataformas y equipos. La estandarización de interfaces, como los conectores de carga y los protocolos de comunicación, es fundamental para proporcionar una experiencia de usuario óptima y para asegurar que los vehículos eléctricos puedan operar dentro de una red de energía integrada y sostenible.

Estos condicionantes requieren un enfoque estratégico y proactivo para gestionar los servicios auxiliares en la cadena de valor de las baterías eléctricas destinadas a la electromovilidad. Abordar estos factores no solo ayuda a superar los desafíos logísticos y técnicos, sino que también posiciona a las empresas para aprovechar las oportunidades en un mercado de vehículos eléctricos en rápida expansión. Al asegurar que estos servicios sean robustos y flexibles, las empresas pueden garantizar que la promesa de la electromovilidad se materialice de manera efectiva y sostenible.

6. Investigación, desarrollo e innovación

Las actividades relacionadas con la investigación y desarrollo tecnológico, la innovación y la competitividad son esenciales en todas las etapas y procesos. Estas actividades son herramientas fundamentales para encontrar las mejores soluciones tecnológicas en todos los niveles.

La colaboración en proyectos nacionales de I+D+i para el almacenamiento de energía en la movilidad y el transporte, que aborden sistemas escalables y dispositivos de gestión eléctrica y térmica, puede ser esencial para mejorar el rendimiento y la durabilidad de las baterías.

Además, existe una oportunidad de negocio en la búsqueda de soluciones de normalización para diversas áreas de la cadena de valor. Esto incluye la definición de estándares para la segunda vida de las baterías, lo que puede abrir nuevas posibilidades.

El desarrollo de la cadena de valor de producción de baterías eléctricas también puede generar sinergias con otras industrias. Por ejemplo, la fabricación de sistemas de almacenamiento para la movilidad no solo beneficia a los fabricantes de componentes de automoción, sino también a sectores relacionados, como los materiales para baterías, sensores de monitoreo de estado de carga, sistemas de refrigeración, cargadores, electrónica de potencia y el reciclaje de materiales al final de su vida útil.

Además de los materiales ya vistos que usan las baterías de óxido de litio metálico, en los ánodos, cátodos, electrolitos y separadores de las celdas, pueden encontrarse decenas de materiales individuales. Cada vez hay más investigaciones en curso centradas en nuevos ánodos (incluyendo litio metálico, silicio metálico, titanio y niobio), materiales de recubrimiento (incluyendo niobio y titanio), nuevos cátodos (incluyendo niobio (CBMM)) y un empaquetado más cercano (menos electrolito, separadores más delgados y recolectores de corriente más delgados). El objetivo principal es aumentar la energía específica para reducir peso y volumen, al tiempo que se mantienen las capacidades de potencia para reducir los tiempos de carga, según las aplicaciones. Por razones de ahorro de costes, cambiar la mezcla de química del cátodo disminuye la proporción total de cobalto en favor de otros materiales como níquel y/o aluminio. Como resultado,

esto potencialmente reduce la seguridad y durabilidad, lo que se vuelve cada vez más importante. Por lo tanto, la investigación se centra en aditivos retardantes de incendios para electrolitos, electrolitos líquidos iónicos, el uso de separadores cerámicos, recubrimiento cerámico de electrodos y baterías de estado sólido.

6.1. Elementos clave en la innovación de baterías para vehículos eléctricos

El eslabón de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en la cadena de valor de las baterías eléctricas es fundamental para impulsar avances tecnológicos que mejoren el rendimiento, la seguridad y la sostenibilidad de las baterías en aplicaciones de electromovilidad. Este proceso dinámico involucra una serie de condicionantes que deben gestionarse eficazmente para optimizar la creación y aplicación de nuevas tecnologías.

- **Colaboración en proyectos de I+D+i.** La colaboración entre empresas, instituciones académicas y centros de investigación es fundamental para el desarrollo de tecnologías avanzadas. Este intercambio promueve la innovación en áreas como sistemas de gestión eléctrica y térmica, importante para la eficacia y durabilidad de las baterías.
- **Sinergias con otras industrias.** La interacción con sectores afines, como los fabricantes de componentes automotrices y los proveedores de materiales, puede generar sinergias que amplifiquen los beneficios de las innovaciones en baterías. Esto incluye el desarrollo compartido de tecnologías que pueden ser aplicadas tanto en la producción de baterías como en otros campos relacionados.
- **Normalización y estándares.** Desarrollar estándares para la 'segunda vida' de las baterías y otros componentes es necesario para facilitar la integración de nuevas soluciones en la cadena de valor global. La estandarización ayuda a garantizar la compatibilidad y la seguridad de las tecnologías de baterías, abriendo nuevas oportunidades de mercado y mejorando la aceptación del consumidor.

A continuación, se procede a profundizar en los procesos involucrados, las tecnologías utilizadas y las materias primas asociadas, así como los desafíos y oportunidades específicas de este sector.

Procesos involucrados, tecnologías y materias primas asociadas

El proceso de investigación y desarrollo en el campo de las baterías eléctricas para movilidad es un ciclo continuo y dinámico que involucra diversas disciplinas científicas e ingenieriles:

- **Investigación básica.** En el campo de la electromovilidad, la investigación de materiales se lleva a cabo mediante estudios detallados con el objetivo de descubrir y caracterizar nuevos materiales que puedan incrementar la capacidad, la densidad energética y la durabilidad de las baterías. Esta labor de investigación se sumerge en la comprensión de las interacciones atómicas y moleculares, comprendiendo las dinámicas químicas y físicas que definen el comportamiento de los materiales. Complementando esta exploración, el modelado computacional utiliza herramientas avanzadas de simulación para predecir cómo estos materiales y sus estructuras se comportarán en la

práctica. Este enfoque no solo agiliza la identificación de materiales con potencial, sino que también contribuye a la optimización del diseño de las celdas de las baterías, acelerando así el desarrollo de tecnologías de almacenamiento energético más eficientes y efectivas.

- **Desarrollo de tecnologías de celdas.** En la búsqueda de mejorar la capacidad de almacenamiento y la vida útil de las baterías, los científicos se dedican a la investigación de nuevos materiales para electrodos y separadores. Experimentan con técnicas avanzadas, como el recubrimiento de electrodos, para aumentar su estabilidad y eficiencia. Además, el desarrollo de nuevos electrolitos es otro frente de innovación, donde se buscan compuestos que no solo mejoren la conductividad iónica, sino que también refuercen la seguridad de las baterías, reduciendo el riesgo de fallos y aumentando su fiabilidad. Paralelamente, las tecnologías de celdas emergentes están bajo constante estudio y desarrollo, destacando las celdas de estado sólido y las celdas de flujo, las cuales prometen superar las limitaciones de las tecnologías actuales y abrir nuevas posibilidades para el almacenamiento de energía.
- **Integración de sistemas.** En este ámbito, los ingenieros están comprometidos con la creación de diseños avanzados que no solo sean más eficientes, sino también más compactos. Este esfuerzo abarca múltiples aspectos, incluyendo la disposición óptima de las celdas, la implementación de sistemas de gestión térmica efectivos y la consideración de la seguridad estructural para garantizar la máxima fiabilidad y durabilidad. Paralelamente, el desarrollo de Sistemas de Gestión de Baterías (BMS) representa otro frente crucial de innovación. Aquí, el foco está en la creación de algoritmos y software avanzados que aprovechan tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Estas herramientas permiten una gestión más precisa y adaptativa de la batería, optimizando su rendimiento y prolongando su vida útil. Estos avances en el diseño de baterías y en los sistemas de gestión apuntan a un futuro en el que los vehículos eléctricos sean cada vez más eficientes, seguros y adaptados a las necesidades de los usuarios.
- **Pruebas y validación.** Los prototipos de baterías se prueban en laboratorios, donde se simulan diferentes condiciones para evaluar su rendimiento de manera controlada. Luego, estas baterías son probadas en el mundo real, enfrentándolas a situaciones cotidianas y variadas. Esta combinación de pruebas asegura que las baterías no solo funcionen bien en la teoría, sino que también sean eficientes y confiables en la práctica.
- **Sostenibilidad y eficiencia energética.** La investigación en el campo del reciclaje de baterías se centra en el desarrollo de métodos que sean tanto eficientes como sostenibles, con el objetivo de manejar las baterías al final de su vida útil de manera responsable. Este enfoque busca recuperar materiales valiosos, minimizando así la generación de residuos y contribuyendo a una economía circular. Al mismo tiempo, se pone un énfasis considerable en la eficiencia de los procesos de producción de las baterías. Las investigaciones en esta área están orientadas a optimizar cada etapa de la fabricación, desde la extracción de materiales hasta el ensamblaje final, con el fin de reducir el consumo de recursos y disminuir la huella ambiental asociada. Estas iniciativas son fundamentales no solo para hacer que la tecnología de baterías sea más ecológica, sino también para asegurar su sostenibilidad a largo plazo en el contexto

de un mundo cada vez más enfocado en las energías renovables y la reducción de impactos ambientales.

Este proceso integrado de investigación y desarrollo es esencial para impulsar la evolución de las baterías eléctricas, mejorando su rendimiento, durabilidad y sostenibilidad a lo largo del tiempo.

Condicionantes para los servicios auxiliares de baterías para electromovilidad

En el contexto de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) de baterías para la electromovilidad, existen varios condicionantes esenciales que influyen directamente la eficacia y el impacto de estas actividades en la cadena de valor. Estos factores no solo afectan el desarrollo tecnológico, sino también la capacidad de la industria para responder a las demandas del mercado y las expectativas regulatorias.

- **Colaboración y transferencia tecnológica.** Los equipos de investigación unen esfuerzos con fabricantes de vehículos eléctricos, empresas de tecnología y otras instituciones, creando una red de intercambio de conocimientos y recursos. Además, la transferencia de tecnología es un aspecto crucial en este proceso. Los avances y descubrimientos realizados en la investigación se comparten con socios industriales y académicos, lo que facilita y acelera la incorporación de estas nuevas tecnologías en productos comerciales. Estas colaboraciones y transferencias son fundamentales para impulsar innovaciones en el sector y llevar rápidamente las mejoras del laboratorio al mercado.
- **Regulación y normativas.** Los investigadores no solo se enfocan en la innovación, sino también en asegurar que las nuevas tecnologías cumplan con los estándares actuales de seguridad y sostenibilidad impuestos por las regulaciones vigentes. Además, existe una proactividad notable hacia las normativas futuras. Los equipos de investigación se mantienen al tanto de los estándares y regulaciones emergentes, adaptando sus desarrollos para cumplir con estas futuras exigencias. Este enfoque garantiza que las tecnologías sean avanzadas, eficientes y viables a largo plazo, adaptándose a un panorama regulatorio en constante evolución.

Estos condicionantes definen el marco dentro del cual se desarrollan y aplican las innovaciones en la industria de baterías para electromovilidad, influyendo en todo, desde la investigación inicial hasta la implementación final del producto. Abordar estos factores con una estrategia efectiva es fundamental para mantener la competitividad y alcanzar la excelencia en el desarrollo de soluciones de baterías avanzadas y sostenibles.

7. Vulnerabilidades y criticidades

La Tabla 6 resume los aspectos más relevantes en relación con los procesos, tecnologías, materias primas y condicionantes aplicables a los distintos eslabones de la cadena de valor. Además, para cada una de las vulnerabilidades y criticidades identificadas, se establece la necesidad de aplicar posteriormente la Metodología para la identificación de recursos estratégicos, su grado de dependencia y riesgo de suministro, tal como se

detalla en el apartado 5, *Identificación de vulnerabilidades y criticidades*. Para facilitar la comprensión de los criterios utilizados en esta evaluación, se incluye a continuación la siguiente leyenda:

- «**Sí**». Esta categoría corresponde a materias primas o tecnologías identificadas como críticas por los expertos durante el desarrollo de los grupos de trabajo, por el equipo de trabajo durante el análisis previamente expuesto del eslabón o por la Comisión Europea en el informe «*Study on the critical raw materials for the EU 2023*»²⁶.
- «**No**». Esta categoría corresponde a las materias primas o tecnologías que, a pesar de su identificación preliminar, la Comisión Europea o los expertos no las consideran como productos de importancia estratégica para España y para la UE o que no están sujetas a riesgos de suministro para el desarrollo de la cadena de valor.
- «**N/A**». Esta categoría corresponde a aquellas vulnerabilidades y criticidades que no se corresponden a materias primas o tecnologías y que, por tanto, no son objeto de aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos.

Según las consideraciones expuestas, a continuación, se procede a exponer los aspectos más relevantes en relación con las vulnerabilidades y criticidades identificadas en los diferentes eslabones. De esta forma, la siguiente tabla, tiene como objetivo fundamental identificar aquellos factores de criticidad involucrados en cada eslabón, contemplando tanto las tecnologías y materias primas analizadas anteriormente, así como aquellos aspectos relacionados y transmitidos a través de los grupos de trabajo con expertos y agentes clave que podrían condicionar la capacidad industrial y el desarrollo de la cadena de valor en España:

26. [European Commission, Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023 – Final Report.](#)

TABLA 6. Evaluación de vulnerabilidades y criticidades

ESLABÓN	VULNERABILIDAD	TIPOLOGÍA	RACIONAL	APLICACIÓN METODOLÓGICA
EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN	Escasez de materias primas	Materias primas	Ante la demanda creciente de materias primas, principalmente de litio, niobio, cobalto y grafito natural, existe un riesgo de escasez en el futuro. Es necesario empezar a explorar nuevos materiales sustitutos como el grafito artificial u otros elementos gráficos, el reciclaje de los ya existentes, como ocurre con el cobre o buscar nuevos usos para los materiales actuales que puedan sustituir aquellas que están en riesgo, como se está experimentando actualmente las propiedades y potenciales usos del aluminio como sustituto del cobre.	Sí
EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN	Dependencia exterior	Materias primas	Actualmente, pese a que España es un país muy rico en producción mineral, existe una gran dependencia del exterior para el suministro de algunas de las materias primas necesarias para la producción de baterías eléctricas, así como tecnologías de transformación de los materiales que se producen en el país para dotarlas de alto valor añadido. Minerales como el grafito, el manganeso o el níquel es necesario importarlos en su totalidad; pero, además, otros como el cobalto o el litio, de los cuales hay reservas en España (pero no son suficientes), por lo que también existe un alto grado de dependencia exterior.	Sí
EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN	Excesiva burocracia para la minería	Materias primas y Procesos	Las posibilidades de España en convertirse en una referencia en minería a nivel mundial se ven frustradas en gran medida debido a la excesiva burocracia y plazos necesarios que cumplir para la explotación de las cuencas mineras del país.	N/A
EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN	Escasez de proveedores	Materias primas	La disponibilidad de materias primas como el cobalto, el litio o el niobio, así como tecnologías y bienes de producción necesarios para la producción de cátodos, ánodos y electrolitos, está muy limitada debido a que la mayor parte de la producción y desarrollo de estos materiales, tecnologías y equipos se concentran en muy pocos proveedores. Esto supone un gran riesgo no solo por la dificultad de acceso y suministro de los mismos, si no por la volatilidad de precio que puede haber en la oferta debido a aumentos en la demanda.	N/A
PRODUCCIÓN	Dependencia exterior	Tecnología	Existe gran dependencia del exterior en cuanto a la disponibilidad de tecnologías y bienes de producción necesarios para la producción de baterías eléctricas, principalmente de China, que dispone de todo el know-how. Esto ocurre principalmente con los equipos y tecnologías relacionadas con la producción de electrodos, como las recubridoras; las máquinas de corte; tecnología de inyección de electrolitos y equipos de análisis de materiales.	Sí
PRODUCCIÓN	Talento interno	Condicionantes	Actualmente en España existe una falta de talento interno y baja oferta formativa enfocada en el nicho de baterías eléctricas.	N/A

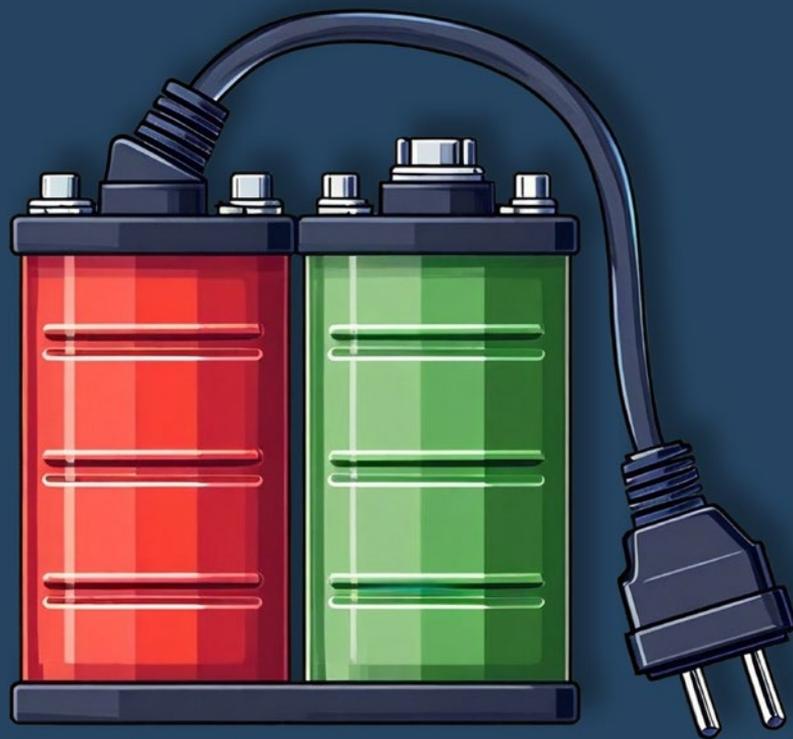
TABLA 6. Evaluación de vulnerabilidades y criticidades

ESLABÓN	VULNERABILIDAD	TIPOLOGÍA	RACIONAL	APLICACIÓN METODOLÓGICA
PRODUCCIÓN	Baterías de ion-litio	Tecnología	España, como la UE en general, ha entrado tarde en el mercado de las baterías eléctricas en comparación con otros competidores (China y EEUU principalmente), por lo que es necesario apostar por tecnologías de nueva generación.	No
PRODUCCIÓN	Recubridoras de electrodos	Tecnología	España tiene una gran dependencia en este aspecto ya que la tecnología para la aplicación de materiales activos en los electrodos está dominada por empresas asiáticas, principalmente japonesas y coreanas.	Si
PRODUCCIÓN	Cortadoras de electrodo	Tecnología	Es una vulnerabilidad de la cadena de valor en España puesto que la producción de este tipo de maquinaria está muy poco desarrollada y existe gran dependencia externa	Si
PRODUCCIÓN	Equipos de análisis de materiales	Tecnología	Estos equipos de análisis suponen una vulnerabilidad en el eslabón, pues los instrumentos de alta gama para el análisis y desarrollo de nuevos materiales de batería son generalmente importados de países como Japón, Alemania y Estados Unidos debido a la baja capacidad de fabricación en España.	Si
APLICACIONES	Capacidad de suministro eléctrico	Condicionantes	La infraestructura eléctrica actual puede no ser suficiente para soportar una amplia adopción de vehículos eléctricos, especialmente en áreas donde la red eléctrica es limitada o está anticuada. Esto puede obstaculizar la capacidad de cargar vehículos de manera eficiente y rápida.	N/A
APLICACIONES	Rendimiento de baterías	Tecnología	El rendimiento de las baterías, en términos de durabilidad, autonomía y tiempo de carga, todavía no cumple completamente las expectativas de todos los usuarios. Esto limita su aceptación en el mercado masivo, donde los consumidores comparan estas características con las de los vehículos de combustión interna	N/A
APLICACIONES	Baja penetración	Condicionantes	A pesar del crecimiento en la producción y venta de vehículos eléctricos, su penetración en el mercado global sigue siendo relativamente baja. Los factores que contribuyen a esto incluyen el alto coste inicial, la limitada infraestructura de carga y la autonomía del vehículo.	N/A

TABLA 6. Evaluación de vulnerabilidades y criticidades

ESLABÓN	VULNERABILIDAD	TIPOLOGÍA	RACIONAL	APLICACIÓN METODOLOGÍA
APLICACIONES	Infraestructura de carga	Condicionantes	La falta de una infraestructura de carga adecuada y accesible es una barrera significativa para la adopción de vehículos eléctricos. Sin suficientes puntos de carga, especialmente en áreas urbanas y a lo largo de rutas importantes, los vehículos eléctricos son vistos como menos prácticos por muchos consumidores.	N/A
RECICLAJE DE BATERÍAS	Sensibilidad a precios de materiales	Materias primas	La rentabilidad del proceso de reciclaje se ve afectada por las fluctuaciones en el precio de las materias primas, lo que puede hacer que la viabilidad del proceso varíe significativamente.	N/A
RECICLAJE DE BATERÍAS	Dependencia tecnológica	Tecnología	Los avances en tecnologías de reciclaje, como la hidrometalurgia y la pirometalurgia, son cruciales para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de estos procesos.	No
RECICLAJE DE BATERÍAS	Limitaciones de capacidad instalada	Otros condicionantes	La infraestructura actual de reciclaje es insuficiente para procesar el creciente volumen de baterías desechadas, lo que limita la capacidad de recuperación de materiales valiosos. Además, estos procesos son muy intensivos a nivel energético, y la eficiencia de los procesos es baja.	N/A
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	Dependencia de la financiación	Otros condicionantes	Los apoyos e incentivos económicos son determinantes para el desarrollo de I+D+i, permitiendo la investigación y la innovación sostenida en tecnologías de baterías.	N/A
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	Innovación interna insuficiente	Otros condicionantes	La innovación interna es vital para reducir la dependencia de tecnologías y competencias externas, asegurando competitividad tecnológica del mercado.	N/A
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	Colaboración limitada	Otros condicionantes	Una mayor colaboración entre entidades públicas y privadas puede acelerar el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías, beneficiando al sector en su conjunto.	N/A
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	Escasez de talento	Otros condicionantes	Atraer y retener talento es fundamental para mantener la competitividad y la capacidad de innovación, especialmente en un campo tecnológicamente avanzado como el de las baterías.	N/A

IX. IDENTIFICACIÓN DE VULNERABILIDADES Y CRITICIDADES



Una vez desarrollado el análisis y caracterización de la cadena de valor asociada a la cadena de suministro de baterías para electromovilidad en España, así como de las vulnerabilidades y dependencias críticas involucradas en la misma, a continuación, se procede a definir las materias primas o productos críticos identificados en cada uno de los eslabones. Dicha criticidad será evaluada a través de la **Metodología para la identificación de recursos estratégicos**, prestando especial atención a los posibles efectos de las materias primas y de los componentes críticos sobre las capacidades industriales y futuras de España en relación con la demanda esperada. Bajo este objetivo, tras la identificación pertinente de las materias primas y componentes de análisis, la metodología llevará a cabo un análisis particular por cada una de ellas en términos de dependencia exterior, de riesgos de concentración de suministro y de riesgos de origen, a raíz de los flujos comerciales internacionales de exportación e importación y a la producción nacional.

1. Listado de materias primas y productos críticos susceptibles de presentar criticidad

En primer lugar, bajo el objetivo de consolidar las materias primas, componentes, productos semi manufacturados y equipamientos involucrados en la cadena de suministro de las baterías para electromovilidad, a continuación, se procede a exponer una tabla esquemática con las materias primas y productos críticos identificados a lo largo del análisis desarrollado, exponiendo sus eslabones de aplicación dentro de la cadena, el carácter estratégico marcado por la Comisión Europea y su referencia en el Sistema Harmonizado de mercancías (HS-6)²⁷ y en los sistemas de codificación y descripción en términos de producción nacional (ProdCom)²⁸.

La identificación de materias primas y productos críticos se basará en los códigos disponibles y establecidos por el Sistema Harmonizado HS-6 y por la base de datos de producción nacional ProdCom, excluyendo del presente análisis aquellas referencias específicas que no dispongan de códigos asociados para la recopilación de los datos pertinentes:

27. [Trade Statistics by Product \(HS 6-digit\) & UN Comtrade](#).

28. [ProdCom | Statistics | Eurostat](#).

1.1. Materias primas susceptibles de presentar criticidad

TABLA 7. Materias primas susceptibles de presentar criticidad

MATERIA PRIMA CRÍTICA	ESLABÓN CADENA VALOR	OTROS ESLABONES IMPLICADOS	¿SE CONSIDERA ESTRATÉGICA POR LA COMISIÓN EUROPEA?	CÓDIGO HS 6	DESCRIPCIÓN CÓDIGO HS-6	PRCCODE ASOCIADO
COBRE	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	740200	Copper unrefined, copper anodes for electrolyti	24441100
GRAFITO NATURAL	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	250410	Graphite; natural, in powder or flakes	8992910
SILICIO	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	280461	Silicon; containing by weight not less than 99.99% of silicon	20132160
TITANIO	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	261400	Titanium ores and concentrates	7291930
NIOBIO	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	261590	Niobium, tantalum, vanadium ores and concentrates	7291940
COBALTO	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	260500	Cobalt ores and concentrates	7291905
LITIO	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	282520	Lithium oxide and hydroxide	20121955
MANGANESO	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	260200	Manganese ores and concentrates, including manganiferous iron ores and concentrates with a manganese content of 20% or more, calculated on the dry weight	7291915
NÍQUEL	Extracción y refinado de materias primas	Producción	Sí	260400	Nickel ores and concentrates	7291200

1.2. Productos y componentes susceptibles de presentar criticidad

TABLA 8. Productos y componentes susceptibles de presentar criticidad

PRODUCTOS CRÍTICOS	ESLABÓN CADENA VALOR	¿SE CONSIDERA ESTRATÉGICO POR LA COMISIÓN EUROPEA?	CÓDIGO HS 6	DESCRIPCIÓN CÓDIGO HS-6	PRCCODE ASOCIADO
EQUIPOS DE MINERÍA	Extracción y refinado de materias primas	No	847410	Machines; for sorting, screening, separating or washing earth, stone, ores or other mineral substances	28924030
TRITURADORAS	Extracción y refinado de materias primas	No	847420	Machines; for crushing or grinding earth, stone, ores or other mineral substances	28924030
MOLINOS	Extracción y refinado de materias primas	No	847420	Machines; for crushing or grinding earth, stone, ores or other mineral substances	28924030
CELDA DE FLOTACIÓN	Extracción y refinado de materias primas	No	847490	Machines, for sorting, screening, separating, washing, crushing etc mineral substances, for agglomerating, shaping or moulding solid fuels, ceramic pastes etc, for forming foundry moulds of sand; parts	28926220
EQUIPOS DE FUNDICIÓN	Extracción y refinado de materias primas	No	841710	Furnaces and ovens; non-electric, for the roasting, melting or other heat-treatment of ores, pyrites or of metals, for industrial or laboratory use	28211230
CELDA ELECTROQUÍMICA	Extracción y refinado de materias primas	No	850720	Electric accumulators; lead-acid, (other than for starting piston engines), including separators, whether or not rectangular (including square)	27202110
ÁNODOS	Extracción y refinado de materias primas	No	854800	Electrical apparatus; parts of machinery and apparatus, n.e.s. in chapter 85	27903391
CÁTODOS	Extracción y refinado de materias primas	No	854800	Electrical apparatus; parts of machinery and apparatus, n.e.s. in chapter 85	27903391
MEZCLADORES PLANETARIOS	Extracción y refinado de materias primas	No	847490	Machines, for sorting, screening, separating, washing, crushing etc mineral substances, for agglomerating, shaping or moulding solid fuels, ceramic pastes etc, for forming foundry moulds of sand; parts	28926210

TABLA 8. Productos y componentes susceptibles de presentar criticidad

PRODUCTOS CRÍTICOS	ESLABÓN CADENA VALOR	¿SE CONSIDERA ESTRATÉGICO POR LA COMISIÓN EUROPEA?	CÓDIGO HS 6	DESCRIPCIÓN CÓDIGO HS-6	PRCCODE ASOCIADO
CÁMARAS DE MEZCLADO	Extracción y refinado de materias primas	No	847982	Machines; for mixing, kneading, crushing, grinding, screening, sifting, homogenising, emulsifying or stirring	28993915
RECUBRIDORAS DE ELECTRODOS	Extracción y refinado de materias primas	No	381090	Fluxes and other auxiliary preparations; for soldering, brazing or welding, or preparations used as cores or coatings for welding electrodes or rods	20595620
MÁQUINAS DE ENROLLADO Y PRENSADO	Extracción y refinado de materias primas	No	820730	Tools, interchangeable; (for machine or hand tools, whether or not power-operated), tools for pressing, stamping or punching	25736033
MÁQUINAS DE ENROLLADO Y PRENSADO	Extracción y refinado de materias primas	No	845510	Metal-rolling mills; tube mills	28911153
ESPECTROSCOPIOS DE MASAS	Extracción y refinado de materias primas	No	902730	Spectrometers, spectrophotometers and spectrographs; using optical radiations (UV, visible, IR)	26515330
MICROSCOPIOS ELECTRÓNICOS	Extracción y refinado de materias primas	No	901290	Microscopes (excluding optical microscopes) and diffraction apparatus; parts and accessories	26518300
SOLDADORAS POR PUNTOS	Producción	No	851511	Brazing or soldering machines and apparatus; soldering irons and guns, whether or not capable of cutting	27903109
SELLADORAS Y FORMADORAS DE BOLSAS	Producción	No	842230	Machinery; for filling, closing, sealing, capsuling or labelling bottles, cans, bags or other containers, machinery for aerating beverages	28292150
MÁQUINAS DE CARGA Y DESCARGA	Producción	No	850423	Electrical transformers; liquid dielectric, having a power handling capacity exceeding 10,000kVA	27114180
BATERÍAS ELÉCTRICAS	Producción	No	850690	Cells and batteries; primary, parts thereof	27201200
DISOLUCIONES CONDUCTORAS (ACUOSAS NACL)	Reciclaje de baterías	No	250100	Salt (including table salt and denatured salt); pure sodium chloride whether or not in aqueous solution; sea water	8931000

TABLA 8. Productos y componentes susceptibles de presentar criticidad

PRODUCTOS CRÍTICOS	ESLABÓN CADENA VALOR	¿SE CONSIDERA ESTRATÉGICO POR LA COMISIÓN EUROPEA?	CÓDIGO HS 6	DESCRIPCIÓN CÓDIGO HS-6	PRCCODE ASOCIADO
HORNO DE CALCINACIÓN	Reciclaje de baterías	No	841790	Furnaces and ovens; parts of non-electric furnaces and ovens (including incinerators), of industrial or laboratory use	28211450
TRITURADORAS O MOLINOS	Reciclaje de baterías	No	847420	Machines; for crushing or grinding earth, stone, ores or other mineral substances	28924030
TAMICES	Reciclaje de baterías	No	847410	Machines; for sorting, screening, separating or washing earth, stone, ores or other mineral substances	28924030
SEPARADORES MAGNÉTICOS	Reciclaje de baterías	No	847989	Machines and mechanical appliances; n.e.s. in item no. 8479.8, having individual functions	28993957
TANQUES DE LIXIVIACIÓN	Reciclaje de baterías	No	847982	Machines; for mixing, kneading, crushing, grinding, screening, sifting, homogenising, emulsifying or stirring	28993915
COLUMNAS DE INTERCAMBIO IÓNICO O EXTRACCIÓN	Reciclaje de baterías	No	847989	Machines and mechanical appliances; n.e.s. in item no. 8479.8, having individual functions	28296030
SISTEMAS DE PRECIPITACIÓN O CRISTALIZACIÓN	Reciclaje de baterías	No	841989	Machinery, plant and laboratory equipment; for treating materials by change of temperature, other than for making hot drinks or cooking or heating food	28296090
DISOLUCIONES ÁCIDAS (HCL; H2SO4; HNO3)	Reciclaje de baterías	No	280610; 280700; 280800	Hydrogen chloride (hydrochloric acid); Sulphuric acid; oleum; Nitric acid; sulphonitric acids	20132413
CONTENEDORES DE TRANSPORTE	Servicios auxiliares	No	860900	Containers; (including containers for transport of fluids) specially designed and equipped for carriage by one or more modes of transport	29202100
CONTENEDORES DE ALMACENAMIENTO	Servicios auxiliares	No	850720	Electric accumulators; lead-acid, (other than for starting piston engines), including separators, whether or not rectangular (including square)	27202240

2. Aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos

Según el análisis realizado de la cadena de valor, las materias primas y componentes identificados durante el proceso participativo, derivado de los grupos de trabajo con expertos, y las materias primas definidas como materiales de importancia estratégica por la Comisión Europea, se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de la **Metodología para la identificación de recursos estratégicos**, su grado de dependencia y riesgo de suministro. Basándose en las consideraciones extraídas del diagnóstico mencionado, se identifican aquellas materias primas y productos analizados según su importancia estratégica y su potencial criticidad en el contexto de España y sus flujos comerciales internacionales.

En la Tabla 9, para cada una de las materias primas y componentes críticos considerados, se detalla el grado de dependencia exterior, el grado de concentración calculado mediante el índice HHI, el riesgo de origen clasificado (alto, medio, bajo) y el riesgo de suministro resultante de estos tres factores. Cabe destacar que el análisis abarca los años 2023, 2022 y 2021, aplicando ponderaciones correspondientes de 0,5, 0,3 y 0,2, respectivamente, para reflejar la evolución en el tiempo.

A continuación, en base a las consideraciones mencionadas, se exponen los siguientes resultados:

2.1. Materias primas críticas

TABLA 9. Materias primas críticas

MATERIA PRIMA CRÍTICA	DEPENDENCIA EXTERIOR	CONCENTRACIÓN HHI	RIESGO DE ORIGEN ALTO	RIESGO DE ORIGEN MEDIO	RIESGO DE ORIGEN BAJO	RIESGO DE SUMINISTRO INDIRECTO
740200-Copper unrefined, copper anodes for electrolyti	N/A	5.617,1949	10,10%	52,31%	37,58%	Alto
260200-Manganese ores and concentrates, including manganese iron ores and concentrates with a manganese content of 20% or more, calculated on the dry weight	100,0000%	4.094,5180	85,14%	1,06%	13,79%	Alto
280461-Silicon containing by weight > =99,99%	100,0000%	5.642,1331	0,51%	0,18%	99,31%	Alto
261400-Titanium ores and concentrates	100,0000%	8.059,1479	93,10%	0,02%	6,87%	Alto
261590-Niobium, tantalum or vanadium ores and concentrates	N/A	6.261,7194	34,38%	55,44%	10,18%	Alto
260500-Cobalt ores and concentrates	N/A	6.987,2682	44,96%	0,10%	54,94%	Alto
250410-Graphite; natural, in powder or in flakes	N/A	6.766,9477	54,46%	8,86%	36,68%	Alto
282520-Lithium oxide and hydroxide	100,0000%	2.996,3135	26,49%	4,84%	68,67%	Medio
260400-Nickel ores and concentrates	N/A	7.699,6174	0,01%	30,07%	49,92%	Medio

Así, se identifican el cobre, manganeso, silicio, titanio, niobio y cobalto como las materias primas de mayor criticidad en el panorama actual, mostrando un escenario de mayor riesgo en aquellas materias primas involucradas en la fabricación de las baterías eléctricas. Materias primas como el grafito y el litio se mantienen en un segundo plano en términos de criticidad.

Ante la imposibilidad de asegurar el suministro exterior o fomentar la extracción directa de estas materias primas, para aumentar la capacidad industrial en la fabricación de baterías eléctricas será necesario implementar acciones que promuevan el reciclaje y la recuperación de metales. Esto asegurará la disponibilidad de materias primas en paralelo con el incremento de la electrificación del parque móvil español.

2.2. Productos y componentes críticos

TABLA 10. Productos y componentes críticos

PRODUCTOS CRÍTICOS	DEPENDENCIA EXTERIOR	CONCENTRACIÓN HHI	RIESGO DE ORIGEN ALTO	RIESGO DE ORIGEN MEDIO	RIESGO DE ORIGEN BAJO	RIESGO DE SUMINISTRO INDIRECTO
850710-ELECTRIC ACCUMULATORS; LEAD-ACID, (OTHER THAN FOR STARTING PISTON ENGINES), INCLUDING SEPARATORS, WHETHER OR NOT RECTANGULAR (INCLUDING SQUARE)	N/A	1.571,8613	5,81%	8,15%	86,04%	Bajo
381090-FLUXES AND OTHER AUXILIARY PREPARATIONS; FOR SOLDERING, BRAZING OR WELDING, OR PREPARATIONS USED AS CORES OR COATINGS FOR WELDING ELECTRODES OR RODS	38,1334%	2.408,6998	1,32%	10,84%	87,84%	Bajo
902730-SPECTROMETERS, SPECTROPHOTOMETERS AND SPECTROGRAPHS; USING OPTICAL RADIATIONS (UV, VISIBLE, IR)	94,0957%	1.115,7181	6,94%	28,42%	64,64%	Bajo

3. Aplicación de la metodología de análisis prospectivo de criticidades

Tras la aplicación de la Metodología para la identificación de recursos estratégicos para evaluar el riesgo de suministro actual de las materias primas involucradas en la cadena de valor de las baterías eléctricas, el presente análisis tendrá como objetivo examinar potenciales escenarios futuros de riesgo relativos a dicha cadena de valor y a las materias primas previamente identificadas como críticas o susceptibles de criticidad, permitiendo obtener un **análisis prospectivo del riesgo de suministro** respecto al nivel obtenido en las condiciones actuales.

Para ello, se llevará a cabo un análisis fundamentado en las proyecciones de demanda de las materias primas implicadas en la cadena de valor, en base al estudio *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*²⁹ elaborado por la Comisión Europea, incluyendo y valorando la evolución futura de las materias primas consideradas, las estimaciones de la futura mezcla de configuraciones y diseños en las tecnologías implicadas y la cantidad de material necesaria por unidad de tecnología desplegada, entre otros factores para la proyección de la demanda futura.

De esta forma, dicho análisis prospectivo se basará en dos horizontes temporales, considerando las proyecciones respecto al **año 2030** y las proyecciones respecto al **año 2050**, contemplando la evolución estimada y su variabilidad en el tiempo. Además, en función del consumo esperado de las materias críticas relacionadas y de las proyecciones consideradas por la Comisión Europea, se desarrollarán dos escenarios principales: un **escenario de baja demanda (LDS)** y un **escenario de alta demanda (HDS)**.

La exposición en detalle de la metodología diseñada para la realización de dicho análisis prospectivo se describe posteriormente en el presente documento en el **Anexo II**.

En base a dicha metodología, a continuación, se exponen en la Tabla 11 los resultados desagregados de **riesgo prospectivo** para cada una de las materias primas previamente identificadas durante el análisis de la cadena de valor:

29. [Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study](#), European Commission, 2023.

TABLA 11: Riesgo prospectivo para cada materia prima identificada

MATERIA PRIMA CRÍTICA	CONCENTRACIÓN DEMANDA FUTURA			RIESGO DE ORIGEN A RAÍZ DE COEFICIENTES DE FRAGMENTACIÓN GEOPOLÍTICA	RIESGO PROSPECTIVO			
	LDS 2030	LDS 2050	HDS 2030		HDS 2050	LDS 2030	HDS 2030	HDS 2050
711041-METALS; IRIIDIUM, OSMIUM, RUTHENIUM, UNWROUGHT OR IN POWDER FORM	1.600,0000	493,8272	311,4187	700,6920	83,91%	Alto	Medio	Medio
260500-COBALT ORES AND CONCENTRATES	868,4903	65,5573	837,8552	73,5695	29,03%	Medio	Medio	Medio
740200-COPPER UNREFINED, COPPER ANODES FOR ELECTROLYTI	592,8165	135,0317	759,9848	220,6618	11,38%	Bajo	Bajo	Bajo
250410-GRAPHITE; NATURAL, IN POWDER OR IN FLAKES	850,1238	65,4775	818,8017	73,4439	72,71%	Medio	Medio	Medio
282520-LITHIUM OXIDE AND HYDROXIDE	800,8303	65,1886	773,8409	73,0844	-20,95%	Bajo	Bajo	Bajo

TABLA 11. Riesgo prospectivo para cada materia prima identificada

MATERIA PRIMA CRÍTICA	CONCENTRACIÓN DEMANDA FUTURA			RIESGO DE ORIGEN A RAÍZ DE COEFICIENTES DE FRAGMENTACIÓN GEOPOLÍTICA	RIESGO PROSPECTIVO		
	LDS 2030	LDS 2050	HDS 2030		LDS 2050	HDS 2030	HDS 2050
260200-MANGANESE ORES AND CONCENTRATES, INCLUDING MANGANIFEROUS IRON ORES AND CONCENTRATES WITH A MANGANESE CONTENT OF 20% OR MORE, CALCULATED ON THE DRY WEIGHT	868,4903	65,5573	837,8552	18,71%	Bajo	Bajo	Bajo
261590-NIOBIUM, TANTALUM OR VANADIUM ORES AND CONCENTRATES	868,4903	65,5573	837,8552	67,92%	Medio	Medio	Medio
260400-NICKEL ORES AND CONCENTRATES	868,4964	65,5561	837,8666	18,74%	Bajo	Bajo	Bajo
280461-SILICON CONTAINING BY WEIGHT >=99.99%	63,6664	32,6568	138,1483	-4,24%	Bajo	Bajo	Bajo

Entre las materias primas identificadas como críticas se encuentran el iridio, cobalto, cobre, grafito, litio, manganeso, niobio, y níquel. Actualmente, estas materias muestran una alta concentración de demanda futura y riesgo de origen significativo, especialmente debido a las fragmentaciones geopolíticas.

En términos de prospectiva, el análisis proyecta que varias de estas materias primas, como el iridio y el niobio, mantendrán un riesgo prospectivo medio, lo que implica que su suministro seguirá siendo una preocupación moderada en el futuro. Cabe destacar que el iridio presenta un riesgo alto en el corto plazo, lo que resalta la necesidad urgente de estrategias de mitigación para este material. La alta concentración de producción y la dependencia de un número limitado de países exportadores hacen que estas materias primas sean vulnerables a las fluctuaciones geopolíticas y a las interrupciones en la cadena de suministro. Por otro lado, materias primas como el cobre, litio, manganeso y níquel mostrarán un riesgo prospectivo bajo, indicando una mayor estabilidad en su disponibilidad futura. Esta estabilidad se debe a una mayor diversificación de las fuentes de suministro y a un menor riesgo geopolítico asociado con estos materiales. En particular, el cobre y el litio presentan un bajo riesgo prospectivo en todos los escenarios evaluados, subrayando una menor vulnerabilidad en su cadena de suministro.

Esta proyección pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias como el reciclaje y la diversificación de fuentes para reducir la dependencia de importaciones y fortalecer la seguridad del suministro, alineado con los objetivos establecidos por la UE para 2030. El reciclaje es especialmente decisivo para materiales como el iridio y el cobalto, que son difíciles de obtener y procesar a nivel mundial. Incrementar la capacidad de reciclaje y la rentabilidad del proceso no solo ayudará a mitigar los riesgos asociados con el suministro, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental y a la economía circular.

Además, diversificar las fuentes de importación puede disminuir la vulnerabilidad frente a las interrupciones en regiones específicas y equilibrar los riesgos geopolíticos. A pesar de las proyecciones de reducción de riesgos, algunas materias primas como el grafito y el cobalto seguirán presentando un riesgo medio en el futuro. Esto sugiere que, además de las estrategias de reciclaje y diversificación, es necesario fortalecer las capacidades internas de procesamiento y producción de estas materias primas.

Invertir en tecnologías avanzadas para la extracción y el procesamiento dentro de la UE puede reducir la dependencia de terceros países y mejorar la autosuficiencia, siendo necesario la inversión en investigación para desarrollar tecnologías alternativas, que por un lado mitiguen la dependencia de materias primas críticas y ayuden a impulsar las capacidades industriales nacionales. La diversificación de fuentes será determinante para rebajar la dependencia de estos países, alineándose con los objetivos de la UE para 2030, que incluyen aumentar la extracción y el procesamiento dentro de la UE, así como mejorar las tasas de reciclaje. La UE se ha fijado metas ambiciosas para asegurar que al menos el 10% del consumo anual de materias primas se extraiga dentro de sus fronteras, que el 40% se procese internamente y que el 25% provenga del reciclaje, limitando la dependencia de cualquier tercer país a un máximo del 65%. Para cumplir con estos objetivos es necesario desarrollar medidas que garanticen un suministro seguro y sostenible de

materias primas críticas para la cadena de valor de las baterías eléctricas en España, impulsen la diversificación y el desarrollo de capacidades industriales propias.

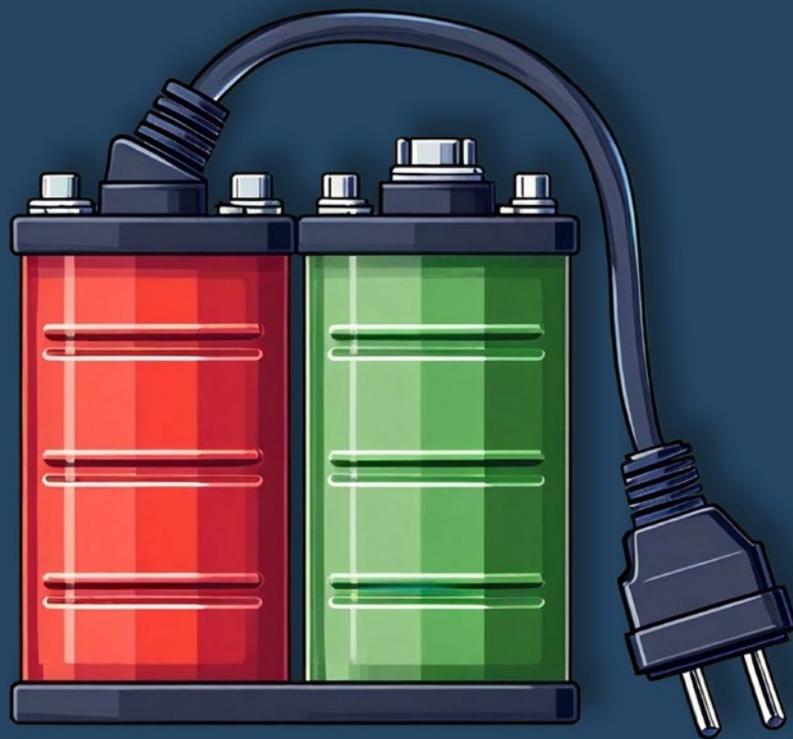
4. Resumen de las criticidades y vulnerabilidades identificadas tanto en la actualidad como a nivel prospectivo

A modo de resumen sobre las conclusiones parciales que emanan del estudio realizado tanto mediante la Metodología para la identificación de recursos estratégicos como por medio de la Metodología de análisis prospectivo, se puede concluir:

- Respecto a las materias primas críticas:
 - Las que presentan mayor criticidad son: cobre, manganeso, silicio, titanio, niobio y cobalto.
 - Estas materias son fundamentales para la fabricación de baterías eléctricas, siendo partes fundamentales desde el cableado hasta los cátodos.
 - Existe una alta dependencia exterior en muchos casos y, por ello, un significativo riesgo de suministro.
- A nivel de componentes:
 - Únicamente los espectómetros tienen una alta dependencia exterior.
 - No se ha identificado ningún producto o componente que presente una alta criticidad.
- Proyección de riesgo futuro de materias primas:
 - El iridio mantendrá un riesgo medio a futuro debido a su concentración de producción y dependencia de pocos países.
 - Materias primas como el cobre, litio, manganeso y níquel mostrarán un riesgo prospectivo bajo, lo que supone una mayor estabilidad en su disponibilidad futura. Esta estabilidad se debe a una mayor diversificación de las fuentes de suministro y a un menor riesgo geopolítico asociado con estos materiales.
- Como posibles medidas de mitigación ante estos riesgos y, que deben sustentar la propuesta de medidas incluida en el siguiente apartado, además de incluir mayor especificación y detalle:
 - Es crucial impulsar el reciclaje y la recuperación de metales, especialmente para materiales como el iridio, difícil de obtener y procesar.
 - La diversificación de fuentes de importación es esencial para mitigar riesgos geopolíticos y garantizar la seguridad del suministro.
 - Es necesario fortalecer la capacidad interna de procesado y la extracción dentro de la UE para reducir la dependencia de terceros países.

X.

MEDIDAS
Y PROPUESTAS PARA
LA RESILIENCIA
DE LA CADENA
DE SUMINISTRO



A raíz del análisis de cada uno de los eslabones de la cadena de valor de las baterías eléctricas, de sus condicionantes, vulnerabilidades, dependencias y criticidades, de las materias primas y tecnologías críticas involucradas y, finalmente, del riesgo de suministro actual y prospectivo presentado a lo largo de todo el documento, el presente apartado tiene como objetivo fundamental la **definición y descripción de medidas y acciones específicas para impulsar el sector estratégico de la fabricación de baterías eléctricas, fomentar la resiliencia de su cadena de suministro y, por tanto, fortalecer la autonomía estratégica de España.**

Conviene resaltar que, en específico, la relación de medidas propuestas tiene como objetivo abordar aquellos aspectos identificados durante los grupos de trabajo, entrevistas con expertos y procesos participativos realizados a lo largo del análisis. Estas medidas están orientadas a mitigar los factores considerados cruciales o de elevada criticidad, contribuyendo al desarrollo de las capacidades industriales españolas, el fortalecimiento del tejido empresarial y la sostenibilidad del sector estratégico en su conjunto.

A modo de resumen, en Tabla 12 se presentan las medidas propuestas, para, posteriormente, proceder al detalle de cada una de ellas:

TABLA 12. Medidas propuestas

MEDIDAS DE APOYO	ACTUACIONES INVOLUCRADAS
<p>9.1. DIVERSIFICACIÓN DEL SUMINISTRO Y FORTALECIMIENTO DE LAS RELACIONES COMERCIALES INTERNACIONALES</p>	<p>9.1.1. Establecimiento y refuerzo de relaciones comerciales con países complementarios relevantes en la exportación de cobre, manganeso, titanio, niobio, cobalto y grafito.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la importación desde Estados Unidos de cobre, estableciendo relaciones comerciales con Suecia, Bulgaria, Eslovaquia y Alemania. • Reducción de la importación desde Sudáfrica de manganeso, estableciendo relaciones comerciales con Francia y Países Bajos. • Reducción de la importación desde Mozambique de titanio, estableciendo relaciones comerciales con Países Bajos y Bélgica. • Reducción de la importación Mozambique de niobio, estableciendo relaciones comerciales con Lituania. • Diversificación del suministro de cobalto, fomentando nuevas relaciones comerciales con Italia, Alemania y Eslovaquia para reducir la dependencia de los Países Bajos. • Mitigación de la concentración de suministro estadounidense para la importación de grafito desde Alemania, Francia y Suecia. <p>9.1.2. Impulso al tejido empresarial para la transición hacia nuevas relaciones comerciales resilientes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de acuerdos de colaboración con ICEX para el desarrollo de misiones directas e inversas. • Creación de un consorcio público-privado que involucren tanto a compañías españolas como a empresas de otros países para la explotación, procesamiento y suministro de cobre, cobalto, niobio y litio.

TABLA 12. Medidas propuestas

MEDIDAS DE APOYO	ACTUACIONES INVOLUCRADAS
9.2. EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS DE MINERALES CRÍTICOS CLAVE PARA LA TRANSICIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA	<p>9.2.1. Activación de yacimientos y depósitos en Asturias, Galicia y Andalucía para la extracción de materias primas estratégicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Realización de estudios geológicos en detalle concentrados en Asturias, Galicia y Andalucía para la extracción de materias primas estratégicas. Establecimiento de vías de aceleración administrativa para los proyectos de minería derivados de los estudios geológicos. Desarrollo de un plan de comunicación orientado al impulso de la minería. Definición de mecanismos de garantía de seguridad de los proyectos de inversión de alto riesgo tecnológico.
9.3. OPTIMIZACIÓN EN LA GESTIÓN Y UTILIZACIÓN DE RECURSOS ESTRATÉGICOS	<p>9.3.1. Impulso a la creación de infraestructura nacional para el reciclaje de baterías.</p> <p>9.3.2. Fomento de la investigación y desarrollo en tecnologías de reciclaje avanzadas.</p>
9.4. INNOVACIÓN EN BATERÍAS DE SEGUNDA GENERACIÓN	<p>9.4.1. Creación de un centro de investigación y desarrollo especializado en nuevas tecnologías.</p> <p>9.4.2. Incentivos a la innovación para el desarrollo de baterías avanzadas.</p> <p>9.4.3. Establecimiento de un consorcio público-privado para el desarrollo de baterías de segunda generación.</p> <p>9.4.4. Atracción de talento especializado y formación continua.</p> <p>9.4.5. Desarrollo de normativas y estándares para las baterías de nueva generación.</p>

1. Diversificación del suministro y fortalecimiento de las relaciones comerciales internacionales

Justificación de la necesidad

El análisis de la cadena de valor de las baterías para la electromovilidad señala que España depende en gran medida de unas pocas fuentes para obtener ciertas materias primas estratégicas, según datos de la Comisión Europea. Esto hace que algunas de ellas sean especialmente críticas debido a la limitación y concentración de su suministro, tal y como se detalla en la Tabla 13:

TABLA 13. Fuentes de materias primas estratégicas

MATERIA PRIMA	PRINCIPAL RELACIÓN COMERCIAL	CONCENTRACIÓN
COBRE	Estados Unidos	32,93%
MANGANESO	Sudáfrica	75,47%
TITANIO	Mozambique	84,12%
NIOBIO	Mozambique	100%
SILICIO ³⁰		
COBALTO	Países Bajos	86,21%
GRAFITO	Estados Unidos	69,14%

Fuente: World Integrated Trade Solution, 2023. Nota metodológica: La concentración se calcula como la proporción que supone, en términos de importación, la principal relación comercial señalada respecto al volumen importador global de España en dicha materia prima.

Actualmente, la mayoría de las importaciones de estas materias primas se concentran en un solo país, **especialmente en el caso del titanio, niobio y cobalto**. Excepto en el caso del cobalto, la mayoría **proviene de fuera de la Unión Europea**, lo que aumenta el riesgo de interrupciones en la cadena de suministro ante tensiones geopolíticas o restricciones comerciales. En particular, España depende en gran medida de Mozambique para el titanio y niobio, de Sudáfrica para el manganeso, y de Estados Unidos para el cobre y grafito. Esta concentración limita las opciones de abastecimiento y dificulta la diversificación. Además, **la producción en la Unión Europea es casi inexistente, representando menos del 1% de las reservas mundiales, lo que deja a España y a Europa en una posición vulnerable frente a fluctuaciones del mercado o barreras comerciales**.

La Tabla 14 muestra como la fuerte concentración del suministro en un solo país se ve agravada por el hecho de que las importaciones de España representan solo una pequeña parte del volumen total exportado por esos países:

30. Los datos de concentración asociados al silicio se determinan como no concluyentes para el presente análisis a raíz de la existencia de diferencias cuantitativas entre los datos de importación y exportación, a causa de un fenómeno conocido como «asimetrías bilaterales». Este fenómeno se debe a que las exportaciones e importaciones se reportan y registran en las bases de datos a través de diferentes tipologías de Incoterms (términos utilizados en los contratos internacionales que detallan las obligaciones de cada una de las partes, a la hora de entregar las mercancías).

TABLA 14. Concentración del suministro de materias primas para España

MATERIA PRIMA	PRINCIPAL RELACIÓN COMERCIAL	CONCENTRACIÓN
COBRE	Estados Unidos	0,57%
MANGANESO	Sudáfrica	0,49%
TITANIO	Mozambique	5,28%
NIOBIO	Mozambique	1,06%
SILICIO ³¹		
COBALTO	Países Bajos	0,78%
GRAFITO	Estados Unidos	0,71%

Fuente: World Integrated Trade Solution, 2023.

En este contexto, además de la falta de diversificación en el suministro de materias primas para baterías, España mantiene relaciones comerciales en las que los países exportadores tienen múltiples destinos para sus exportaciones, dejando a España en un segundo plano y con un bajo poder de negociación. Esta situación expone al país a mayores riesgos de interrupciones en la cadena de suministro o a la implementación de políticas comerciales restrictivas, ya que otros mercados generan un mayor volumen de ingresos para esos exportadores.

Debido a estos factores, es fundamental que España implemente medidas para diversificar sus fuentes de suministro, en línea con los objetivos de la Unión Europea para 2030, que establecen que no más del 65% del consumo anual de cada materia prima estratégica provenga de un solo país externo. Además de diversificar sus relaciones comerciales, España necesita fortalecer sus vínculos existentes para mejorar su posición en el mercado y convertirse en un socio comercial clave a corto, medio y largo plazo. Este enfoque será determinante para garantizar el suministro de materias primas críticas, dado que el país carece de reservas significativas y la producción nacional es muy limitada.

Descripción de las actuaciones involucradas

A partir de las premisas anteriormente expuestas, España deberá llevar a cabo diferentes actuaciones orientadas a la diversificación y fortalecimiento de las relaciones comerciales, tanto para asegurar su autonomía estratégica como para garantizar el cumplimiento

31. Los datos de concentración asociados al silicio se determinan como no concluyentes para el presente análisis a raíz de la existencia de diferencias cuantitativas entre los datos de importación y exportación, a causa de un fenómeno conocido como «asimetrías bilaterales». Este fenómeno se debe a que las exportaciones e importaciones se reportan y registran en las bases de datos a través de diferentes tipologías de *Incoterms* (términos utilizados en los contratos internacionales que detallan las obligaciones de cada una de las partes, «exportador-vendedor» e «importador-comprador», a la hora de entregar las mercancías)

de las políticas europeas en relación con las materias primas denominadas como críticas, por lo que se proponen las siguientes actuaciones específicas:

1.1. Establecimiento y refuerzo de relaciones comerciales con países complementarios relevantes en la exportación de cobre, manganeso, titanio, niobio, cobalto y grafito

Con el objetivo de aportar una visión de posibles relaciones comerciales alternativas o complementarias a las actuales, a continuación, se procede a exponer los 10 principales países y regiones exportadoras en el mundo en 2023 de las materias primas críticas previamente señaladas (ordenadas de arriba hacia abajo por volumen exportador). En la Tabla 15 se pueden observar resaltados los países en los que concentra España su importación actualmente (en azul) y los países propuestos para el establecimiento de dichas relaciones comerciales para cada una de las materias primas (en verde):

TABLA 15. Relaciones comerciales con países complementarios relevantes

#	COBRE	MANGANESO	TITANIO	NIOBIO	SILICIO	COBALTO	GRAFITO
1	Zambia	Gabón	Sudáfrica	Brasil		Italia	China
2	Chile	Sudáfrica	Mozambique	Mozambique		Malasia	Alemania
3	Suecia	Ghana	Madagascar	Canadá		Alemania	Tanzania
4	Bulgaria	Brasil	Kenia	Malasia		Reino Unido	EEUU
5	Sudáfrica	Costa de Marfil	India	China		Zambia	España
6	EEUU	China	Ucrania	Nigeria		Países Bajos	Brasil
7	Eslovaquia	Marruecos	Países Bajos	EEUU		EEUU	Mozambique
8	España	Malasia	Malasia	Emiratos Árabes Unidos		España	Reino Unido
9	Filipinas	Francia	Australia	Sri Lanka		Australia	Francia
10	Alemania	Países Bajos	Bélgica	Lituania		Eslovaquia	Suecia

Fuente: World Integrated Trade Solution, 2023.

Es relevante destacar que todos los países mencionados en la tabla tienen un volumen de exportación superior a las importaciones españolas de estas materias primas, lo que indica que podrían abastecer por completo las necesidades de suministro de España, según los datos más recientes de 2023.

De esta forma, se proponen las siguientes actuaciones:

- **Establecimiento de relaciones comerciales europeas complementarias para diversificar la importación.** Dichas relaciones comerciales se centrarán en los Estados Miembros de la UE, estableciendo flujos de importación de «País Inmediato»³² y aprovechando sus acuerdos comerciales y posicionamiento estratégico con los «Países Últimos»³³. De esta forma, la actuación tendrá como objetivo fomentar la colaboración y el flujo comercial de los recursos en el interior del territorio europeo. Además, el volumen exportador de estos países otorgaría a España un margen suficiente para escalar su importación, fomentando la disponibilidad de suministro para satisfacer la demanda proyectada para 2030 y 2050.

En este sentido, bajo el establecimiento de relaciones comerciales adaptadas a la situación actual, se seguirán las siguientes directrices según la concentración del suministro y el riesgo de origen derivado del «País Inmediato» exportador:

- En el caso de que el país inmediato pertenezca a la Unión Europea, únicamente se llevará a cabo una **diversificación del suministro**, manteniendo la relación actual, pero orientando la estrategia comercial a la mitigación de la concentración de suministro.
- En el caso de que el suministro proceda de países ajenos a la UE, se llevará a cabo una **mitigación** de la concentración de suministro, fomentando la diversificación a través de Estados Miembros.
- En caso de que el suministro proceda de países ajenos a la OCDE, se llevará a cabo directamente una **reducción** del volumen importador actual, fomentando que casi la totalidad de la importación se encuentre en países de las categorías anteriores.

A continuación, se procede a definir los **países identificados como objetivo de las relaciones comerciales para cada una de las materias primas críticas** expuestas:

- **Cobre:** Reducción de la importación desde Estados Unidos de cobre, estableciendo relaciones comerciales con Suecia, Bulgaria, Eslovaquia y Alemania.
- **Manganeso:** Reducción de la importación desde Sudáfrica de manganeso, estableciendo relaciones comerciales con Francia y Países Bajos.
- **Titanio:** Reducción de la importación desde Mozambique de titanio, estableciendo relaciones comerciales con Países Bajos y Bélgica.
- **Niobio:** Reducción de la importación Mozambique de niobio, estableciendo relaciones comerciales con Lituania.
- **Cobalto:** Diversificación del suministro de cobalto, fomentando nuevas relaciones comerciales con Italia, Alemania y Eslovaquia para reducir la dependencia de los Países Bajos.
- **Grafito:** Mitigación de la concentración de suministro estadounidense para la importación de grafito desde Alemania, Francia y Suecia.

32. Término comúnmente empleado en la nomenclatura de la Inversión Extranjera Directa que, en términos de importación, hace referencia al país de donde proviene el suministro que entra en España.

33. De forma complementaria al término de «País Inmediato», en términos de importación, hace referencia al país de donde proceden originalmente los suministros y las materias primas importadas.

- **Constitución de grandes acuerdos comerciales.** De forma complementaria a las relaciones comerciales expuestas previamente, España deberá establecer acuerdos comerciales con países que dispongan de varias materias primas simultáneamente, reforzando su posicionamiento comercial respecto a estos países y garantizando su aprovisionamiento como territorio estratégico para su balanza comercial. Esta acción deberá siempre ser ejecutada desde el punto de vista de la diversificación, garantizando la disponibilidad de múltiples acuerdos que mitiguen la ruptura de las cadenas de suministro ante cualquier cambio en el entorno geopolítico. En este sentido, se recomienda establecer acuerdos con **Alemania, Suecia, Francia y Eslovaquia**, que disponen de una posición favorable en el mercado europeo para varias de las materias primas. **Alemania** podría ser un socio clave para el suministro de **cobre, cobalto y grafito**, mientras que **Suecia** podría fortalecer el acceso al **cobre y grafito**. **Francia** sería un aliado estratégico para el **manganeso y grafito** y, **Eslovaquia**, para el **cobre y cobalto**. Estos acuerdos ayudarían a diversificar las fuentes de suministro y a garantizar una mayor estabilidad en la cadena de valor de baterías.

1.2. Impulso al tejido empresarial para la transición hacia nuevas relaciones comerciales resilientes

En línea con el establecimiento de dichas relaciones comerciales con los países de la Unión Europea, es crucial poner a disposición del tejido empresarial aquellos medios necesarios que incentiven y permitan llevar a cabo nuevos acuerdos comerciales, la diversificación de su portfolio de proveedores, la definición de nuevas fórmulas de colaboración europeas y, en última instancia, una reducción de la dependencia de países exteriores a la Unión Europea y la OCDE.

De esta forma, se proponen las siguientes actuaciones fundamentales para el impulso de las empresas españolas de la cadena de valor de baterías para la electromovilidad y de sus industrias auxiliares:

- **Establecimiento de acuerdos de colaboración con ICEX para el desarrollo de misiones directas e inversas.** Bajo la premisa de fomentar el establecimiento de relaciones comerciales y acuerdos estratégicos entre España y los países previamente señalados, se propone el establecimiento de acuerdos de colaboración con el ICEX, optimizando los recursos ya destinados por dicha entidad al posicionamiento con dichos países y aprovechando el efecto tractor de dicha entidad en el ámbito internacional para llevar a cabo misiones directas promocionales en el extranjero y misiones inversas de atracción de inversiones orientadas en la cadena de valor de las baterías para la electromovilidad.
 - **En el marco de las misiones promocionales de inversión en el extranjero**, se propone la realización de reuniones con entidades gubernamentales y empresas industriales para identificar oportunidades de interés común, atractivos clave para la captación de inversión y capacidades industriales, y definir acuerdos estratégicos. En este sentido, se sugiere llevar a cabo misiones en países de la UE como **Alemania, Suecia, y Francia**, que juegan un papel clave en la producción para baterías, como

el cobre, cobalto y grafito. El objetivo es fomentar la deslocalización de parte de sus cadenas de suministro hacia España, promoviendo la instalación de fábricas de componentes y plantas de reciclaje en regiones industriales como Cataluña, que ya cuenta con infraestructuras tecnológicas y energéticas adecuadas, así como proyectos consolidados.

- **En el marco de las misiones inversas de inversión**, se propone llevar a cabo la organización de iniciativas conjuntas con el ICEX que contemplen la organización de *roadshows* sectoriales, reuniones particularizadas, visitas a proyectos de inversión existentes en el territorio español y eventos que permitan poner en valor la idoneidad de España en la ejecución de proyectos industriales. Estas misiones deberían enfocarse en **Italia y Suecia**, que son actores relevantes en la adopción de tecnologías para la electrificación y la transición energética en Europa. En **Italia**, el objetivo sería atraer inversiones para fortalecer la cadena de suministro de materiales críticos como el **grafito**, aprovechando la orientación del país hacia la innovación en sectores energéticos y tecnológicos. En **Suecia**, se recomienda establecer colaboraciones enfocadas en el desarrollo y fabricación de baterías, debido al creciente papel de la región en la producción de tecnologías sostenibles para la movilidad eléctrica.
- **Creación de un consorcio público-privado que involucren tanto a compañías españolas como a empresas de otros países para la explotación, procesamiento y suministro de cobre, cobalto, niobio y litio.** Se propone la formación de un consorcio que involucre tanto a empresas españolas como a socios internacionales, con el objetivo de desarrollar toda la cadena de valor de los materiales estratégicos necesarios para la fabricación de baterías. El enfoque de este consorcio será colaborativo, buscando establecer un marco de cooperación que permita compartir riesgos y costes, facilitar el acceso a tecnología avanzada y atraer financiación extranjera. Además, se fomentará la adquisición de *expertise* en el desarrollo de proyectos mineros complejos, garantizando al mismo tiempo la continuidad del suministro en el territorio nacional. El consorcio se centrará en la explotación, procesamiento y distribución de litio, cobalto y otros metales críticos, ya que España cuenta con yacimientos significativos de estos materiales, especialmente en regiones como Extremadura. Este enfoque seguirá modelos exitosos de colaboración internacional en Europa, como el proyecto WhiteCycle³⁴, y se estructurará en torno a la participación de:
 - **Empresas de producción primaria y refino procedentes de Finlandia:** en el ámbito de los minerales críticos para baterías, Finlandia es un líder europeo destacado, especialmente en la producción de níquel y cobalto. Finlandia es uno de los pocos países de la Unión Europea con capacidad significativa de producción y procesamiento de estos metales, gracias a empresas como Outokumpu y Terrafame. Además, el país tiene experiencia en refinar y extraer metales de alta pureza, lo cual es decisivo para aplicaciones avanzadas como las baterías de vehículos eléctricos.

34. Consorcio público-privado conformado por 17 organizaciones del ámbito internacional europeo y orientado específicamente a desarrollar una economía circular para convertir los residuos textiles de plástico en productos de alto valor añadido. De esta forma, dicho consorcio contó con la participación de socios industriales, empresas de gestión de residuos, empresas de clasificación inteligente, reciclaje biológico y de análisis del CV de los productos, agrupaciones empresariales y empresas de gestión de proyectos, permitiendo aunar recursos y fomentar el desarrollo del sector textil de forma conjunta.

- **Empresas de producción de materiales para cátodos y ánodos en Alemania:** este país alberga importantes compañías como **BASF y Umicore**, que lideran el desarrollo de materiales avanzados para cátodos, incluyendo NCM (Níquel-Cobalto-Manganeso) y NCA (Níquel-Cobalto-Aluminio). Estas empresas están centradas en mejorar la densidad energética y la durabilidad de las baterías, respondiendo a la creciente demanda del mercado europeo de vehículos eléctricos. En cuanto a los ánodos, empresas como **SGL Carbon** destacan en la fabricación de materiales de grafito, así como en la investigación de compuestos grafito-silicio, con el fin de incrementar la capacidad de almacenamiento energético de las baterías. La colaboración con centros de investigación y la fuerte conexión con la industria automovilística alemana impulsan la innovación continua, fortaleciendo la cadena de valor de la electromovilidad en Europa.
- **Empresas de reciclaje procedentes de Países Bajos.** En línea con el compromiso de Países Bajos por la circularidad, registrando un ratio de circularidad en el uso de materiales del 27% en 2022 (el valor más alto de la UE), y su amplio grado de *expertise* en diferentes industrias y recursos, el consorcio debería contar con la presencia de empresas neerlandesas que permitan aportar su conocimiento en búsqueda de nuevas oportunidades de negocio derivada de las materias críticas de la cadena de valor de las baterías para la electromovilidad.
- **Fondos de inversión y empresas de capital riesgo procedentes del ámbito europeo** que, en busca de rentabilidad en nuevos sectores emergentes (tecnologías sostenibles, movilidad sostenible, etc.) permitan la atracción de capital extranjero para fomentar la disponibilidad de recursos para la ejecución de iniciativas y proyectos en el territorio español en el marco del consorcio. La atracción de dicho capital extranjero se realizará en consonancia con las misiones directas e inversas en colaboración con el ICEX previamente mencionadas.

2. Explotación de yacimientos clave de minerales críticos para la transición de la Unión Europea

Justificación de la necesidad

Tal y como se observa durante el análisis, la **Comisión Europea ha determinado un listado de materias primas estratégicas para el futuro y necesarias para la transición energética**, a raíz de la criticidad derivada de los riesgos de suministro, de la concentración de las reservas y de la producción primaria en países determinados.

A continuación, se presenta la Tabla 16 que muestra el panorama actual de las materias primas estratégicas identificadas por la Comisión Europea como esenciales para la transición energética. Este análisis refleja el nivel de reservas y la producción primaria de estas materias en el territorio europeo en comparación con el total mundial, destacando la criticidad derivada de los riesgos de suministro y la concentración en países específicos:

TABLA 16. Situación actual de las materias primas estratégicas

MATERIA PRIMA	RESERVAS UE	PRODUCCIÓN PRIMARIA UE
COBRE	3,1%	4,2%
MANGANESO	0,0%	0,1%
TITANIO	0,0%	0,0%
NIOBIO	0,0%	0,0%
SILICIO	Solo producción	3,8% (refinada)
COBALTO	5,7%	0,8%
GRAFITO	1%	0,1%

Fuente: Raw Materials Information System. European Commission, 2023.

Se puede observar como el nivel de reservas y producción primaria del titanio, el niobio, manganeso o el grafito son casi nulos en el territorio europeo, en comparación con la disponibilidad en otros países del mundo. Además, el resto de las materias primas identificadas muestran unos niveles muy reducidos por debajo del 6% en ambas variables. De forma complementaria, dichas materias primas presentan un alto grado de concentración en determinados países del mundo:

- Cobre: reservas distribuidas entre Chile, Perú y México (54%).
- Manganeso: 52% de las reservas en Sudáfrica.
- Titanio: reservas distribuidas entre China, Australia e India (únicamente el 33% se encuentra en otros países).
- Niobio: 75% de las reservas en Brasil.
- Silicio: 73% de la producción refinada es de China.
- Cobalto: 45% de las reservas de la República Democrática del Congo y 22% de Australia y Cuba.
- Grafito Natural: 45% de las reservas de China y 18% Mozambique.

En línea con el cumplimiento del objetivo establecido en el Reglamento (UE) 2024/1252 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de abril de 2024, orientado a garantizar que al menos el 10% del consumo anual de la UE se extraiga de la propia UE, la minería en España requiere de una profunda reactivación que permita investigar las materias primas existentes en el subsuelo de la península ibérica e impulsar la extracción minera que permita incrementar la disponibilidad local de dichas materias primas, fomentando la autonomía estratégica y la dependencia de dichas reservas exteriores a la UE y a la OCDE.

Además, es importante recalcar que en la actualidad España no cuenta con una política minera nacional uniforme y alineada con la Iniciativa de Materias Primas de la Unión

Europea. A pesar de su gran potencial minero, es necesaria una planificación territorial del conjunto nacional que prevea la presencia de recursos minerales antes de asignar ciertos usos del suelo, con el fin de evitar que otros usos del territorio bloqueen el acceso a estos recursos y que permitan definir planes urbanísticos acordes a estas políticas. De forma complementaria, **es necesaria la creación de planes generales de exploración minera, orientados a cubrir las necesidades específicas del país, como la obtención de minerales críticos para la industria y, en particular, para la cadena de valor de las baterías eléctricas.** La eficiencia en la exploración, explotación y producción minera es clave para el desarrollo y producción de las baterías eléctricas en España y, especialmente, para el fomento de la autonomía estratégica en relación con las materias primas estratégicas involucradas.

Descripción de las actuaciones involucradas

Tal y como se muestra anteriormente, la Unión Europea en su conjunto muestra en la actualidad un reducido nivel de reservas y de producción primaria en comparación con el resto del mundo.

Bajo estas premisas, España deberá llevar a cabo diferentes actuaciones orientadas hacia el estudio, planificación y explotación de yacimientos clave de minerales críticos para la transición energética, fomentando la disponibilidad de suministros en la cadena de valor de producción de baterías eléctricas.

Activación de yacimientos y depósitos en Asturias, Galicia y Andalucía para la extracción de materias primas estratégicas.

Según los estudios extraídos del **proyecto EuRare**, financiado por la Comisión Europea para el desarrollo de un esquema de explotación sostenible de los depósitos de tierras raras en Europa, advirtió en 2022 sobre la potencial presencia de tierras raras en Europa, Turquía y Groenlandia analizando la existencia de 76 depósitos³⁵ y yacimientos³⁶.

Según los estudios extraídos de diversos análisis financiados por la **Comisión Europea** para el desarrollo de esquemas de explotación sostenible de los depósitos de minerales críticos en Europa, se ha advertido sobre la presencia significativa de depósitos de **cobre, manganeso, grafito, cobalto, titanio y niobio** en distintas regiones de Europa, incluyendo España, Turquía y otros territorios.

España, dentro de la Unión Europea, se posiciona como uno de los países con mayores oportunidades para explotar estos recursos estratégicos, especialmente en lo que respecta al **cobre**, material esencial para la producción de baterías eléctricas. El país ocupa el segundo lugar en la producción de cobre, una materia prima transversal que se emplea en múltiples componentes de las baterías, como colectores de corriente, sistemas de almacenamiento y cableado. Además, España cuenta con la **única mina de cobalto en operación en la Unión Europea**.

35. Lugares que podrían llegar a ser explotables.

36. Lugares explotables de forma viable.

En esta misma línea, **distintos estudios geológicos** y científicos apuntan a la existencia de yacimientos de varios minerales críticos para la **cadena de valor de baterías eléctricas**:

- Cobre y grafito en Asturias, **minerales clave** para los sistemas de almacenamiento energético y los electrodos de las baterías.
- Níquel y cobalto en Galicia, fundamentales para la **fabricación de celdas de batería** de iones de litio, que se utilizan tanto en vehículos eléctricos como en soluciones de almacenamiento de energía a gran escala.
- Más de una decena de minerales fundamentales en Andalucía, entre los que se incluyen:
 - **Cobre y manganeso**, necesarios para los cátodos de las baterías de iones de litio.
 - **Grafito**, utilizado en los ánodos de las baterías.
 - **Titanio**, un material clave para mejorar la eficiencia y la durabilidad de las baterías.
 - **Silicio**, empleado en tecnologías de baterías de nueva generación, mejorando la capacidad de almacenamiento y la eficiencia energética.

La transición energética, que impulsa la adopción masiva de vehículos eléctricos y soluciones de almacenamiento energético, ha puesto en primer plano la importancia de una **cadena de suministro sólida y diversificada de materias primas críticas**. Entre las regiones con mayor potencial en Europa para suministrar estos recursos estratégicos, **Andalucía, Galicia y Asturias** destacan en España por la **presencia de yacimientos de minerales clave** para la producción de baterías eléctricas.

Andalucía, en particular, alberga una gran diversidad de **materias primas críticas de la lista de la Comisión Europea** que son esenciales para la fabricación de baterías de iones de litio y otras tecnologías emergentes de almacenamiento de energía entre las que se encuentran las siguientes aplicables a la cadena de valor de las baterías eléctricas: **Cobre**, un material esencial para los colectores de corriente y sistemas eléctricos de las baterías; **grafito**, utilizado en los ánodos de las baterías de iones de litio; **cobalto**, crucial para los cátodos de las baterías por su capacidad de mejorar el rendimiento y estabilidad; **silicio metálico**, que está jugando un papel clave en el desarrollo de baterías avanzadas con mayor densidad energética; **manganeso**, un componente fundamental para los cátodos en las baterías NCM (Níquel-Cobalto-Manganeso); y **titanio**, que mejora la durabilidad de las baterías y es usado en la construcción de celdas más estables.

Bajo este contexto, en el ámbito del **impulso del sector estratégico de las baterías eléctricas**, se propone desarrollar una **hoja de ruta** que permita establecer una **política minera homogénea**. Esta política debe estar orientada a definir las actuaciones necesarias para fomentar la **explotación de los yacimientos y depósitos de materias primas críticas** en las comunidades autónomas de **Asturias, Galicia y Andalucía**. Dicha hoja de ruta debe coordinarse con otras actividades mineras de relevancia y con sectores estratégicos, permitiendo la extracción simultánea de minerales esenciales para las baterías eléctricas y otros sectores industriales clave en España.

Así, se propone que dicha hoja de ruta contemple los siguientes ámbitos fundamentales:

- Como punto de partida, se propone que la **hoja de ruta** contemple la realización de **estudios geológicos en detalle** que permitan identificar con precisión las zonas con

mayor potencial para la extracción de **materias primas críticas** como el cobre, cobalto, manganeso, grafito, niobio, titanio y silicio. Estos estudios deberán llevarse a cabo principalmente en las regiones de **Asturias, Galicia y Andalucía**, ya que son áreas con depósitos conocidos o potenciales de estos minerales.

El objetivo es que los estudios permitan evaluar el volumen de los recursos disponibles y la viabilidad económica y ambiental de su explotación. Esta fase es crucial para la correcta planificación de las actividades mineras, optimizando el uso de los recursos naturales y facilitando la **coordinación administrativa** para acelerar la ejecución de los proyectos. Estos estudios sentarán las bases para las siguientes fases de explotación y asegurarán que los recursos se extraigan de manera sostenible y eficiente.

- De forma complementaria, la hoja de ruta debe contemplar la creación de **vías de aceleración administrativa** para los proyectos de minería derivados de los estudios geológicos. Es decir, una vez identificadas las zonas de mayor potencial, se debe poner en marcha un sistema ágil que reduzca los tiempos de tramitación de permisos y licencias, lo que permitirá acelerar la ejecución de los proyectos mineros.

De la mano de estas vías, se propone la creación de **Unidades Aceleradoras de Proyectos** en las regiones donde se realicen los estudios, con un enfoque especial en Asturias, Galicia y Andalucía, donde ya existen precedentes de este tipo de iniciativas. Estas unidades actuarán como puntos de coordinación entre las administraciones estatal, autonómica y local para facilitar y agilizar la puesta en marcha de las explotaciones mineras, reduciendo el tiempo desde la planificación hasta el inicio de las actividades extractivas. Esto resultará clave para asegurar la competitividad de España en el suministro de materias primas críticas para la cadena de valor de las baterías.

En territorios como Andalucía, la Unidad Aceleradora de Proyectos ha constituido una gran vía de aceleración administrativa para la ejecución de proyectos industriales, suponiendo los mismos la mayor parte de su porfolio para la reactivación y desarrollo del territorio.

- Al mismo tiempo, se propone también el desarrollo de un **plan de comunicación nacional** enfocado en resaltar la importancia estratégica de las **materias primas críticas** para la cadena de valor de las **baterías eléctricas** y su papel esencial en la **transición energética**. Este plan deberá destacar los beneficios económicos, sociales y ambientales de la explotación responsable de estos recursos, incluyendo la creación de empleo, el impulso a la economía regional y la reducción de la dependencia de proveedores externos.

El plan de comunicación debe orientarse a educar a la ciudadanía sobre el papel que juegan estos minerales en el futuro de la movilidad eléctrica y el almacenamiento energético, y a transmitir la importancia de asegurar su suministro frente a potenciales escaseces globales. Además, el plan debe enfatizar el compromiso con los **criterios ESG (Environmental, Social, and Governance)**, asegurando que la minería en España se llevará a cabo de acuerdo con los más altos estándares de sostenibilidad y responsabilidad social.

- Para garantizar la **atracción de capital inversor en proyectos mineros de alto riesgo tecnológico**, la hoja de ruta debe incluir mecanismos que ofrezcan garantías de

seguridad a los inversores. Debido a los largos tiempos de tramitación de permisos y la naturaleza incierta de algunos depósitos, los inversores podrían mostrarse reticentes a participar sin un marco que mitigue los riesgos asociados.

Así, se propone la **creación de fondos de garantía específicos** para proyectos mineros, que protejan a los inversores frente a posibles fluctuaciones del mercado de materias primas o cambios regulatorios. Además, se sugiere ofrecer incentivos fiscales y otros mecanismos financieros que hagan más atractiva la inversión en la extracción de minerales críticos en España, alineando los intereses del sector privado con los objetivos estratégicos nacionales y europeos de transición energética.

La implementación de esta hoja de ruta permitirá acelerar el desarrollo de proyectos mineros en España, fomentando la explotación sostenible y eficiente de materias primas críticas para la cadena de valor de las baterías eléctricas. De esta manera, España podrá posicionarse como un líder en la transición energética, atrayendo inversión, generando empleo y contribuyendo a la reducción de emisiones mediante el desarrollo de tecnologías limpias y sostenibles.

3. Optimización en la gestión y utilización de recursos estratégicos

Justificación de la necesidad

Además de asegurar el suministro, fortalecer la capacidad industrial y promover la colaboración entre los Estados Miembros, el reciclaje y la economía circular se presentan como soluciones clave para disminuir el uso de recursos, reutilizar los materiales importados al final de su ciclo de vida, y reducir la dependencia de nuevos insumos de terceros.

En este sentido, en la Tabla 17 se procede a exponer el End-of-Life Recycling Input Rate (EoL-RIR) de las materias primas críticas previamente identificadas:

TABLA 17. End-of-Life Recycling Input Rate

MATERIA PRIMA	EOL-RIR
COBRE	30%
MANGANESO	9%
TITANIO	1%
NIOBIO	0%
SILICIO	0%
COBALTO	22%

Fuente: Raw Materials Information System. European Commission, 2023.

Los datos del RMIS de la Comisión Europea revelan que actualmente, las materias primas presentan un **porcentaje muy bajo de material reciclado como insumo en el sistema productivo**. Esto subraya la necesidad de implementar medidas para fomentar el reciclaje, impulsar la economía circular en los procesos industriales y promover la innovación en la reutilización de recursos.

En 2022, **España alcanzó una tasa de circularidad del 7% en el uso de materiales**, por debajo del 11,5% de la media europea y muy lejos de países como Países Bajos, Bélgica, Francia o Italia, todos con porcentajes superiores al 15%. Esta situación demanda un mayor esfuerzo para fortalecer el reciclaje y la economía circular en la industria española, en sintonía con las políticas y objetivos establecidos por la Unión Europea para 2030 y 2050. Esto impulsaría la sostenibilidad y facilitaría la atracción de inversiones, fomentando el desarrollo de proyectos internacionales con un enfoque ambientalmente responsable.

Descripción de las actuaciones involucradas

Dado el bajo nivel de reutilización de las materias primas críticas identificadas y la limitada circularidad de los recursos en el sistema productivo español, es necesario implementar diversas medidas que optimicen la gestión y el uso de estas materias primas y componentes esenciales para el desarrollo de la cadena de valor de las baterías para la electromovilidad:

3.1. Impulso a la creación de infraestructura nacional para el reciclaje de baterías

En el contexto de la Unión Europea, la capacidad de reciclaje de materiales asociados a las baterías presenta diferencias significativas. En 2022, los porcentajes de contenido reciclado para ciertos metales críticos fueron bajos: el cobalto alcanzó el 16%, el litio solo el 4% y el níquel el 6%. Esto refleja una **capacidad de reciclaje limitada en comparación con metales más comunes** como el plomo, que alcanzó un 85% de contenido reciclado. Sin embargo, se han establecido objetivos ambiciosos para el futuro, con planes para que el reciclaje de litio llegue al 50% para 2027 y al 80% en 2031, mientras que el reciclaje de cobalto y níquel debería alcanzar el 90% en 2027 y el 95% en 203.

Por ello, se propone el desarrollo de una planta industrial dedicada al reciclaje de metales críticos presentes en las baterías, enfocada especialmente en cubrir la demanda de materiales estratégicos que representan una oportunidad clave para la economía circular. La planta se centrará en la recuperación de metales como el níquel, el cobalto, el cobre y el aluminio, fundamentales para la producción de nuevas baterías y otros usos industriales. La planta deberá ser desarrollada bajo un modelo de sociedad mixta, que combine la inversión privada y pública para garantizar su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo:

- Por un lado, se propone que la sociedad mixta esté compuesta mayoritariamente por empresas privadas del ámbito internacional, con experiencia en el tratamiento y reciclaje de materiales críticos utilizados en las baterías. Estas empresas deberán aportar el conocimiento técnico y las capacidades necesarias para reutilizar los metales

recuperados en la fabricación de nuevas baterías y otros componentes industriales. Se fomentará la participación de capital privado tanto español como europeo, con la inclusión de empresas de países con un alto grado de circularidad en sus sectores productivos, como Alemania, Francia, Italia o los países nórdicos, que poseen amplia experiencia en el reciclaje de materiales y en la gestión de residuos industriales.

- Por otro lado, dicha sociedad estará participada por el gobierno español, promoviendo una gestión centrada en el interés público y en la autonomía estratégica en la cadena de valor de la electromovilidad. La participación del gobierno garantizará que el proyecto esté alineado con las políticas nacionales de sostenibilidad y que contribuya a reducir la dependencia de materiales importados mediante el desarrollo de capacidades locales para la recuperación y reciclaje de metales críticos, esenciales para la producción de baterías.

El modelo de gobernanza de dicha planta industrial seguirá los mismos principios que los consorcios mencionados en la medida de apoyo 1. *Diversificación del suministro y fortalecimiento de las relaciones comerciales internacionales*, orientado particularmente al impulso de la economía circular en la cadena de valor de las baterías para la electromovilidad y fomentando la colaboración público-privada y transfronteriza europea.

En este sentido, se propone emplazar la planta de reciclaje en las proximidades de los principales polos de fabricación de baterías en España, tales como las futuras gigafactorías y los centros industriales dedicados a la electromovilidad. Esto permitirá optimizar los costes de transporte y logística al facilitar la recolección de baterías usadas y materiales residuales desde las instalaciones de producción y ensamblaje. La cercanía a las fábricas de baterías también favorecerá la integración del reciclaje en la cadena de suministro, facilitando el suministro de metales reciclados, como cobalto, níquel, cobre y aluminio, para la producción de nuevas baterías. Además, la ubicación estratégica junto a estas instalaciones industriales incrementará la eficiencia del reciclaje y contribuirá a crear un ecosistema industrial enfocado en la economía circular, desde la fabricación hasta el reciclaje. Esto permitirá reducir la dependencia de materiales importados y fomentar una mayor sostenibilidad en la cadena de valor de las baterías.

A continuación, se procede a exponer potenciales ubicaciones para el emplazamiento de dichas plantas industriales (resaltadas como un círculo azul), según la cercanía a las principales fábricas de baterías para la electromovilidad aprobadas o construidas en España (resaltados como un círculo verde), priorizando siempre aquellos emplazamientos cercanos a varios de ellos para mitigar la dependencia hacia un proyecto particular y a un único núcleo industrial:

De esta forma, a raíz del número de proyectos anunciados de fábricas de baterías y de regiones vinculadas al sector de la movilidad, se identifican como potenciales ubicaciones de interés para el emplazamiento de dichas plantas industriales de reciclaje las provincias de:

- **Extremadura:** la región se presenta como una ubicación estratégica debido a la cercanía con la futura gigafábrica de baterías en Navalmoral de la Mata, lo que permitiría cerrar el ciclo de vida de las baterías con el reciclaje in situ de los materiales utilizados en su producción. Extremadura también tiene acceso a importantes proyectos de

minería, que proporcionan materias primas esenciales para las baterías, como el litio. Además, la región cuenta con políticas activas de apoyo a la transición energética y la economía verde, lo que facilita el acceso a incentivos y fondos europeos para proyectos industriales sostenibles. La planta de reciclaje contribuiría a la **diversificación económica de la región y al desarrollo de una infraestructura clave** para la electromovilidad en el suroeste de España.

FIGURA 16. Potenciales ubicaciones para plantas industriales de reciclaje



Fuente: Elaboración propia a partir de la información del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Gobierno de España.

- **Cataluña:** Cataluña es una opción favorable debido a su proximidad a la industria automotriz, con centros de producción como la fábrica de SEAT en Martorell y la presencia de otras empresas del sector de la movilidad eléctrica. La cercanía al puerto de Barcelona también facilita la logística de exportación e importación de materiales reciclados y baterías usadas. Cataluña tiene una larga tradición industrial, especialmente en el sector de los metales, lo que facilita la integración de la planta de reciclaje en el tejido productivo regional. La ubicación en esta zona permitiría abastecer la creciente demanda de materiales reciclados en la industria de las baterías y reforzaría la economía circular en la región.
- **País Vasco:** esta región cuenta con un fuerte enfoque en la innovación tecnológica y la economía circular, siendo un referente en la industria metalúrgica y automotriz. La planta de reciclaje podría beneficiarse de la infraestructura industrial existente y de la proximidad a centros de investigación y universidades con experiencia en tecnologías de reciclaje. Además, el puerto de Bilbao proporciona una vía de transporte eficiente para los materiales reciclados, tanto para el mercado interno como para la exportación. La ubicación en el País Vasco favorecería la recuperación de materiales en el norte de España y fomentaría la creación de un ecosistema de electromovilidad sostenible en la región.

3.2. Fomento de la investigación y desarrollo en tecnologías de reciclaje avanzadas

Además de los componentes más comunes que se reciclan en las baterías, como el cobalto, níquel, cobre y aluminio, existen dos materiales críticos cuya recuperación es especialmente complicada o costosa: el litio y el grafito. La dificultad para reciclar estos elementos justifica la necesidad de realizar una mayor inversión en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia y reducir los costes del proceso.

En este sentido, se propone el lanzamiento de una convocatoria de subvenciones en la que se contemple la financiación de:

- Los costes derivados de las **actividades de investigación y desarrollo**.
- Los costes derivados de la **adaptación de las capacidades industriales para el teste**o de dichas actividades de investigación y desarrollo.
- Las actividades para la **generación de proyectos innovadores comerciales** que permitan realizar la transición desde escalas más reducidas hacia escalas comerciales y de gran magnitud.

Además, se propone que dichas convocatorias de incentivos contemplen entre sus criterios de baremación y priorización de solicitudes la colaboración en el panorama europeo y la ejecución de proyectos de investigación y desarrollo conformados por entidades de diferentes países de la Unión Europea. Este factor tendrá como objetivo fundamental fomentar la transferencia de conocimiento y tecnología entre los Estados Miembros, acelerando la ejecución de los proyectos y garantizando la competitividad europea respecto a otros territorios como Estados Unidos y China.

En esta línea, se deberá llevar a cabo una **dotación de incentivos** que permitan a las empresas españolas, **especialmente a los fabricantes de electrolizadores** y de sus sistemas auxiliares, desarrollar proyectos de innovación y desarrollo específicamente orientados a las **siguientes líneas temáticas de subvención**:

- **Acelerar el desarrollo de tecnologías de reciclaje específicas para el litio**: aunque es un componente esencial de las baterías, tiene procesos de reciclaje complejos. Las nuevas tecnologías hidrometalúrgicas y biometalúrgicas deberán ser desarrolladas para extraer el litio de forma más sostenible y con una mayor eficiencia. Además, los proyectos deberán centrarse en la obtención de litio con calidad suficiente para ser reutilizado en nuevas baterías, lo que contribuirá a reducir la dependencia de las importaciones y a mejorar la economía circular.
- **Fomentar la investigación en métodos de reciclaje de grafito para su reutilización en aplicaciones de alta calidad**: el grafito es un material clave en los ánodos de las baterías, pero su reciclaje ha sido poco explorado debido a la falta de tecnologías adecuadas. Las subvenciones deben apoyar proyectos que desarrollen procesos de purificación y reacondicionamiento del grafito, lo que permitiría reintroducirlo en la fabricación de nuevas baterías o en otros usos industriales. Esto ayudará a reducir la demanda de grafito natural y a disminuir el impacto ambiental de su extracción.

- **Investigar el uso de procesos de separación y purificación avanzados** para la recuperación conjunta de litio y grafito, lo cual optimizaría los costes del reciclaje y mejoraría la eficiencia general del proceso. La implementación de tecnologías automatizadas y el uso de inteligencia artificial para la clasificación y desmantelamiento de baterías también deben ser parte de las líneas de investigación, para maximizar la recuperación de estos materiales críticos y optimizar el flujo de trabajo en las plantas de reciclaje.

4. Innovación en baterías de segunda generación

Justificación de la necesidad

La industria de las **baterías eléctricas** en España y en la Unión Europea enfrenta una fuerte **dependencia tecnológica** y de suministro de **China**, que actualmente controla alrededor del **70 % de la producción mundial de celdas de batería de iones de litio** y el **80 % del suministro de materiales procesados**³⁷, como el cobalto y el grafito, esenciales para la fabricación de batería. Además, China domina la producción de **equipos y tecnologías clave** necesarias para la fabricación de baterías, tales como **máquinas de recubrimiento, inyección de electrolitos y equipos de análisis de materiales**, lo que limita la capacidad de Europa para competir en igualdad de condiciones.

China dispone del **know-how**, las **infraestructuras y los equipos necesarios para la producción de baterías**, lo que incluye tecnologías críticas como las recubridoras, máquinas de corte, inyección de electrolitos y equipos de análisis de materiales. Esta situación deja a **España y a la Unión Europea en una posición desfavorable**, con una fuerte dependencia de las importaciones tanto de materiales como de equipos y tecnologías de producción.

La **Comisión Europea** ha identificado esta dependencia como un riesgo crítico para la **autonomía estratégica** de la UE, ya que las **baterías representan más del 40 % del coste de un vehículo eléctrico**³⁸, y la falta de una industria robusta en este sector podría poner en peligro los objetivos climáticos y de movilidad eléctrica. Actualmente, la Unión Europea depende de importaciones para más del **90 % de sus necesidades de litio y cobalto**.³⁹

Por otra parte, los costes de producción en Europa son **entre un 30 % y un 40 % más elevados** que en China, debido a la falta de una **base industrial integrada** y la escasez de conocimientos técnicos avanzados en la fabricación de baterías de primera generación. Esta situación es especialmente crítica si se tiene en cuenta que se espera que la **demanda de baterías en la UE aumente 14 veces para 2030**⁴⁰ impulsada por el crecimiento del mercado de vehículos eléctricos y el almacenamiento de energía renovable.

Dado que España y la UE han llegado tarde al mercado de las baterías en comparación con competidores como China y Estados Unidos, se hace imprescindible desarrollar

37 Agencia Internacional de la Energía (IEA).

38 Comisión Europea y estudios de la industria automotriz.

39 RMIS – Raw Materials Information System.

40 Alianza Europea de Baterías (EBA) y la Comisión Europea.

tecnologías de segunda generación, como las baterías de estado sólido, litio-azufre o sodio-ión, que pueden ofrecer mejoras significativas en la densidad energética, mayor seguridad, menores tiempos de carga y una reducción de la dependencia de materiales críticos, como el cobalto y el níquel. Estas tecnologías emergentes tienen el potencial de reducir el coste de las baterías hasta un 30 %, ⁴¹ aumentando al mismo tiempo su rendimiento y sostenibilidad.

Para avanzar en esta dirección, es esencial implementar una estrategia de innovación orientada a reducir la dependencia externa, desarrollando el talento y conocimiento interno y estableciendo una base industrial competitiva en tecnologías de nueva generación.

Descripción de las actuaciones involucradas

Con el fin de desarrollar una estrategia de innovación en baterías de segunda generación, se proponen las siguientes actuaciones clave para fomentar el liderazgo tecnológico de España en este sector estratégico:

4.1. Creación de un centro de investigación y desarrollo especializado en nuevas tecnologías

En este sentido, se propone la creación de un centro nacional de I+D especializado en el desarrollo de baterías de segunda generación, que sirva como un referente en innovación para España y Europa. Este centro podrá dedicarse a la investigación avanzada y el desarrollo de tecnologías de baterías de nueva generación, tales como baterías de estado sólido, litio-azufre, litio-aire y sodio-ión, con el objetivo de abordar las limitaciones inherentes a las baterías de iones de litio convencionales, tales como la baja densidad energética, los problemas de seguridad y la dependencia de materiales críticos como el cobalto.

- **Investigación y desarrollo de tecnologías de vanguardia.** El centro se enfocará en el desarrollo de baterías de nueva generación que sean más seguras, de mayor densidad energética, y menos dependientes de materias primas críticas como el cobalto y el níquel. Las tecnologías investigadas tendrán el potencial de reducir los tiempos de carga en un 50 %, aumentar la durabilidad en ciclos de vida útiles en más de un 30 % y reducir los costes de producción en hasta un 25 % en comparación con las baterías de iones de litio actuales.
- **Transferencia de tecnología y desarrollo de patentes propias** de la mano de las universidades, centros de investigación, startups y la industria, el centro fomentará la transferencia de conocimientos y tecnologías para garantizar que los avances científicos se conviertan en soluciones comerciales. El desarrollo de patentes y tecnologías propias fortalecerá la posición de España en el mercado global y reducirá la dependencia de las patentes y tecnologías extranjeras.

⁴¹ Agencia Internacional de la Energía (IEA).

- **Optimización de la cadena de suministro:** El centro de I+D también se enfocará en mejorar la eficiencia de la **cadena de suministro de materiales** para las baterías avanzadas, desarrollando alternativas a los materiales escasos o costosos, como el uso de **materiales reciclables o renovables**. La investigación en **sustitutos para el cobalto y el litio**, así como en el **reciclaje eficiente de materiales usados en las baterías**, contribuirá a una producción más sostenible y menos dependiente de importaciones.

Funciones y actividades del centro de I+D

- **Investigación aplicada y básica en baterías avanzadas.** El centro se centrará en **investigación aplicada** para llevar las nuevas tecnologías de baterías desde el laboratorio hasta la producción en masa. También realizará **investigación básica** para explorar nuevas combinaciones de materiales y tecnologías emergentes que tengan el potencial de revolucionar el mercado de almacenamiento de energía. Esto incluirá el estudio de **materiales avanzados**, como electrolitos sólidos, ánodos de silicio y cátodos libres de cobalto.
- **Colaboración con el sector industrial y académico.** La **colaboración con universidades y centros tecnológicos** será fundamental para fomentar la transferencia de conocimiento y tecnología. El centro actuará como un puente entre la industria y el sector académico, facilitando la participación en consorcios de investigación europeos, como el **programa Horizon Europe y la Alianza Europea de Baterías (EBA)**. Además, se apoyará la creación de spin-offs y startups para comercializar las tecnologías desarrolladas.
- **Formación y desarrollo de talento especializado.** Para abordar la falta de talento especializado en el campo de las baterías avanzadas, el centro ofrecerá **programas de formación y capacitación** para investigadores, técnicos e ingenieros. Esto podrá incluir programas de formación continua para los profesionales del sector, con módulos específicos en **nuevas tecnologías de almacenamiento, fabricación avanzada y reciclaje de baterías**.

El centro también se encargará de la **construcción de prototipos** y la realización de **pruebas de validación** para nuevas tecnologías de baterías, incluyendo pruebas de seguridad, rendimiento y durabilidad. Esto permitirá acelerar el **ciclo de innovación** y llevar las nuevas tecnologías al mercado con mayor rapidez.

Atracción de inversión y financiación para proyectos de I+D. El centro actuará como un catalizador para **atraer inversión pública y privada** en el sector de las baterías avanzadas. Participará en **proyectos financiados por la UE**, como **Innovation Fund**, y promoverá la colaboración con empresas internacionales para llevar a cabo proyectos conjuntos de desarrollo tecnológico.

El centro de I+D en baterías de segunda generación ayudará a reducir la dependencia de China, fomentará la creación de empleo especializado y el desarrollo industrial, y contribuirá a los objetivos climáticos de la UE al promover baterías más sostenibles. Además, permitirá a España competir con líderes globales como China y Estados Unidos en el mercado de baterías eléctricas, fortaleciendo su posición internacional.

El centro de I+D se podría ubicar en regiones con fuerte actividad industrial y tecnológica, como **Cataluña, el País Vasco o la Comunidad Valenciana**, aprovechando los ecosistemas industriales existentes y facilitando la colaboración con centros tecnológicos y empresas del sector.

En este sentido, se propone una combinación de **fondos públicos y privados** para la creación del centro, con apoyo de **fondos europeos** (como el programa Horizon Europe y los Fondos de Recuperación y Resiliencia de la UE) y aportaciones de **empresas del sector**. También se podrían explorar **acuerdos de colaboración internacional** con países líderes en innovación para cofinanciar proyectos específicos.

4.2. Incentivos a la innovación para el desarrollo de baterías avanzadas

Para impulsar la innovación en el sector de las baterías de nueva generación, se propone la implementación de un **programa integral de incentivos fiscales y ayudas directas dirigido a empresas que realicen inversiones en I+D enfocadas en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía avanzadas**. Los incentivos abarcarán tanto la investigación de nuevas tecnologías, como baterías de estado sólido, litio-azufre o sodio-ión, así como la adquisición de equipos de producción avanzada, necesarios para llevar a cabo procesos de fabricación altamente tecnológicos.

El programa de incentivos podrá incluir **deducciones fiscales por gastos en I+D, subvenciones directas para proyectos específicos, y créditos blandos para la adquisición de equipos y la construcción de plantas de producción de baterías avanzadas**. Además, se podrán ofrecer bonificaciones fiscales adicionales a las empresas que logren desarrollar **tecnologías patentables en España**, fomentando así la creación de propiedad intelectual local y reduciendo la dependencia de patentes extranjeras.

Las ayudas estarán específicamente orientadas a **apoyar proyectos que busquen reducir la dependencia de proveedores asiáticos, mediante la creación de tecnologías propias y la implementación de líneas de producción de baterías avanzadas en territorio español**. Esto será clave para desarrollar una base industrial local que sea competitiva a nivel global, generando empleo cualificado y mejorando la resiliencia de la cadena de suministro. Los proyectos que integren el uso de materiales alternativos o reciclables para la fabricación de baterías podrán acceder a incentivos adicionales, con el objetivo de **promover prácticas sostenibles en la industria**.

Además, el programa de incentivos se alineará con los fondos europeos disponibles, como el Fondo de Innovación de la UE, el Horizon Europe y los Fondos de Recuperación y Resiliencia, para maximizar el impacto de las ayudas y atraer capital extranjero. La **combinación de incentivos nacionales y europeos** permitirá financiar proyectos de gran envergadura, que impulsen el liderazgo de España en el desarrollo de baterías de nueva generación.

Por último, se establecerán **mecanismos de seguimiento y evaluación** para garantizar la eficacia de los incentivos y asegurar que los proyectos cumplan con objetivos específicos de reducción de costes, desarrollo de nuevas tecnologías y sostenibilidad. Esto

permitirá **adaptar las políticas a las necesidades** cambiantes del mercado y fomentar un entorno propicio para la innovación continua en el sector de las baterías.

4.3. Establecimiento de un consorcio público-privado para el desarrollo de baterías de segunda generación

Para fomentar el desarrollo y la producción de baterías de segunda generación en España, se propone la creación de un consorcio público-privado que integre a los principales actores del sector. Este consorcio reunirá a fabricantes de baterías, empresas de automoción, centros de investigación, universidades y administraciones públicas, con el fin de coordinar esfuerzos y maximizar el impacto de las iniciativas en el ámbito de las baterías avanzadas.

El consorcio tendrá como objetivo principal **desarrollar e implementar un plan estratégico nacional que impulse la producción de baterías avanzadas y reduzca la brecha tecnológica** con respecto a líderes internacionales, como China y Estados Unidos. Este plan deberá abordar desde la **investigación y el desarrollo (I+D) de nuevas tecnologías**, hasta la creación de infraestructuras de fabricación, pasando por la formación de talento y el fortalecimiento de la cadena de suministro.

Entre las principales funciones destacarían:

- **Definición de prioridades tecnológicas y de inversión.** El consorcio será responsable de identificar y priorizar las áreas tecnológicas más prometedoras para el desarrollo de **baterías de nueva generación**, como las **baterías de estado sólido, litio-azufre y sodio-ión**. También deberá coordinar la asignación de recursos para la financiación de proyectos específicos, asegurando que los fondos se destinen a **tecnologías con alto potencial de escalabilidad y aplicación comercial**.
- **Gestión y acceso a fondos nacionales y europeos.** Una de las funciones clave del consorcio será facilitar el acceso a **fondos nacionales y europeos**, como los **programas Horizon Europe, el Fondo de Innovación de la UE** y otros mecanismos de financiación pública y privada. El consorcio se encargará de **coordinar la presentación de propuestas conjuntas**, optimizando la obtención de financiación y evitando la duplicación de esfuerzos.
- **Creación de infraestructuras de fabricación y prueba.** El consorcio promoverá el desarrollo de **infraestructuras industriales** para la fabricación de baterías avanzadas, incluyendo **plantas piloto, líneas de producción y centros de prueba de tecnologías emergentes**. Estas infraestructuras facilitarán la validación de nuevas tecnologías y la optimización de procesos productivos antes de su escalado industrial, reduciendo los riesgos asociados al lanzamiento de nuevas tecnologías al mercado.
- **Fomento de la transferencia de tecnología y la creación de patentes.** Se fomentará la **colaboración entre universidades, centros de investigación y la industria** para promover la transferencia de conocimiento y tecnología. El consorcio incentivará el desarrollo de **patentes propias y tecnologías patentables** en el país, reduciendo la dependencia de patentes extranjeras y aumentando el valor añadido de la industria nacional.

Colaboración internacional y participación en proyectos europeos

El consorcio deberá facilitar la **colaboración internacional** para aprovechar las **oportunidades de cooperación y transferencia tecnológica**. La participación en iniciativas europeas, como la **Alianza Europea de Baterías (EBA)**, será crucial para acceder a fondos, conocimientos y tecnologías de vanguardia, permitiendo que España se integre en la cadena de valor de baterías en Europa.

Además, se buscarán alianzas con países líderes en tecnologías emergentes de almacenamiento energético, como **Alemania, Japón y Corea del Sur**, con el fin de establecer **acuerdos bilaterales de cooperación** y llevar a cabo proyectos conjuntos de investigación y desarrollo (I+D). Esto permitirá compartir buenas prácticas y acelerar la adopción de tecnologías avanzadas.

Desarrollo de ecosistemas regionales de innovación

El consorcio también deberá promover la **creación de ecosistemas regionales de innovación** en torno a las **baterías avanzadas**, impulsando la **descentralización de las actividades industriales y de investigación**. Se propondrá la ubicación de centros de I+D y fábricas de baterías en regiones con fuerte actividad industrial y tecnológica, como **Cataluña, el País Vasco, la Comunidad Valenciana y Madrid**, para aprovechar las capacidades locales y estimular el crecimiento económico en distintas partes del país.

Estos ecosistemas regionales **facilitarán la colaboración entre empresas, universidades y gobiernos locales**, generando **sinergias que fomenten la innovación continua y la creación de empleo especializado**. Además, promoverán la formación de clústeres tecnológicos que concentren la actividad en torno a las baterías, creando un entorno propicio para el desarrollo y la fabricación de nuevas tecnologías.

4.4. Atracción de talento especializado y formación continua

El desarrollo de baterías de segunda generación requiere de **personal altamente cualificado**. Por lo tanto, se propone la implementación de un **programa para la atracción de talento especializado internacional en el campo de las baterías avanzadas**, así como la creación de programas de formación continua para los profesionales del sector.

En el marco del consorcio, se establecerán **colaboraciones con universidades e institutos tecnológicos** para actualizar los currículos académicos e incorporar módulos específicos sobre **baterías avanzadas, materiales innovadores y tecnologías de fabricación**. Además, se ofrecerán becas y subvenciones para estudiantes y profesionales que deseen especializarse en el desarrollo de baterías de segunda generación.

4.5 Desarrollo de normativas y estándares para las baterías de nueva generación

Finalmente, para asegurar que las nuevas tecnologías cumplan con los requisitos de seguridad y sostenibilidad, se apoyará al desarrollo de normativas y estándares específicos para las baterías de segunda generación. **La creación de normativas claras y**

consistentes facilitará la homologación y comercialización de las nuevas tecnologías, además de fomentar la confianza en el mercado.

Las regulaciones deben incluir criterios específicos para la reciclabilidad, seguridad y huella de carbono de las nuevas baterías, garantizando que el avance tecnológico se alinee con los objetivos de sostenibilidad de la Unión Europea.

La estrategia para el desarrollo de baterías de segunda generación en España, centrada en la creación de un centro de I+D, incentivos a la innovación y un consorcio público-privado, posicionará al país como líder en tecnología energética. **Estas medidas reducirán la dependencia de proveedores externos, fomentarán la transferencia de tecnología y la formación de talento especializado, y consolidarán una industria local competitiva.** Además, la colaboración internacional y la implementación de normativas específicas garantizarán que España compita globalmente en el sector, acelerando la transición hacia un modelo energético más sostenible.

5. Recapitulación sobre las medidas propuestas

Las materias primas principales, especialmente aquellas consideradas críticas debido a su riesgo de suministro y dependencia de terceros países, su acceso a ellas y la reducción de la dependencia de otros países será esencial para la transición hacia una economía más sostenible y para el fortalecimiento de la industria europea. Aunque la Unión Europea ha avanzado con la aprobación del Reglamento sobre Materias Primas Fundamentales, este ámbito no es competencia exclusiva de la UE, por lo que España también debe desempeñar un papel clave para alcanzar los objetivos compartidos, particularmente en el desarrollo de la cadena de valor de las baterías para la electromovilidad.

En base a los análisis de la cadena de valor, consultas con expertos y evaluaciones específicas sobre el riesgo de suministro de materiales y componentes críticos, este documento presenta un conjunto de medidas orientadas a garantizar la autonomía estratégica de España en la cadena de valor de las baterías, mitigando así las vulnerabilidades y dependencias existentes.

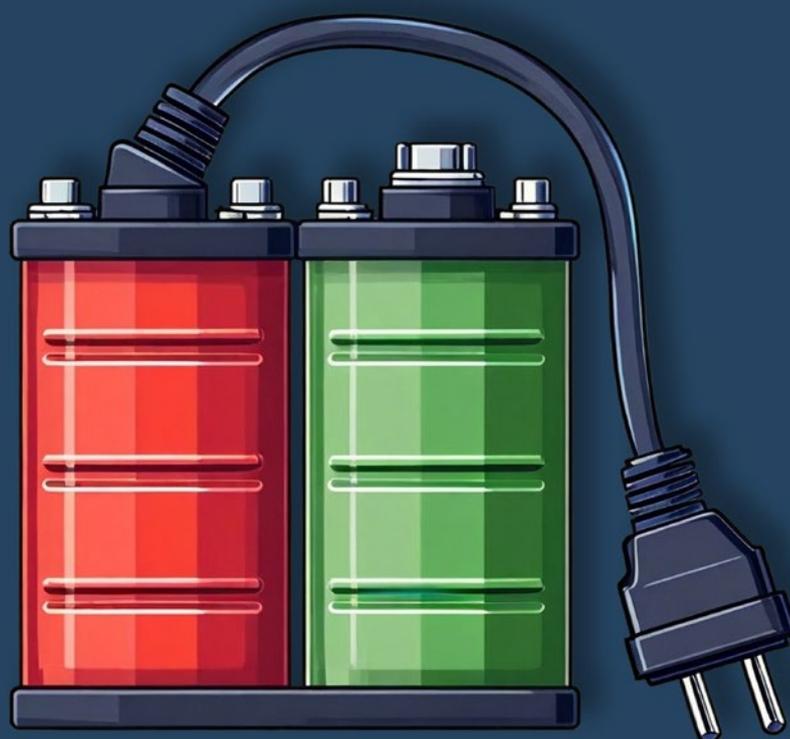
Las medidas propuestas abarcan desde la diversificación del suministro y el fortalecimiento de relaciones comerciales internacionales, hasta la creación de sinergias industriales con otros países de la Unión Europea. Este enfoque colaborativo facilitará el acceso a suministros, conocimientos, tecnologías y recursos, lo que contribuirá a reducir la dependencia de importaciones y promover un crecimiento sostenible dentro del mercado europeo.

Además, para impulsar la competitividad y la autonomía española en el contexto internacional, el documento incluye medidas de apoyo para fomentar el uso de recursos nacionales y promover la economía circular con grandes proyectos de sostenibilidad. Esto no solo beneficiará la disponibilidad de recursos dentro de España, sino también la competitividad del sector industrial y la viabilidad de proyectos de baterías en el país.

Con las acciones propuestas se busca fortalecer e impulsar el desarrollo de la cadena de valor en España, impulsar la resiliencia económica de la industria, generar empleo,

impulsar el desarrollo y la innovación tecnológica y disminuir la vulnerabilidad ante crisis globales o geopolíticas. Estos avances contribuirán a posicionar España como líder en la cadena de valor de las baterías de electromovilidad y a cumplir los objetivos de la Comisión Europea para 2030 y 2050.

XI. ANEXOS



ANEXO I.

METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RECURSOS ESTRATÉGICOS, SU GRADO DE DEPENDENCIA Y RIESGO DE SUMINISTRO

En el presente anexo se presenta la Metodología para la identificación de recursos estratégicos, su grado de dependencia y riesgo de suministro, desarrollada y utilizada como parte de la evaluación actual de criticidades para la cadena de valor de baterías eléctricas, que tiene como objetivo:

- Identificar aquellos bienes manufacturados considerados como recursos de primera necesidad y de carácter estratégico («producto crítico» en adelante).
- Establecer el grado de dependencia exterior para dichos productos críticos.
- Analizar el riesgo de interrupción de suministro en caso de crisis (de suministro o de aumento de demanda).

El primer paso de la metodología consiste en identificar los productos que tienen un carácter crítico para España. Para ello y, en línea con la metodología para establecer la Lista de la UE de materias primas críticas, se utilizarán los conceptos de: importancia estratégica e importancia económica.

La importancia estratégica y el uso crítico para cada sector se define en relación con los conceptos de: la supervivencia del individuo⁴² y la supervivencia de la nación⁴³.

La importancia económica se define como la proporción de importaciones y exportaciones del producto sobre el comercio exterior total y sirve para identificar aquellos productos críticos que, sin tener un uso crítico para ningún sector, tienen un alto peso en el bienestar económico del país.

42. Aquí se consideran aquellos productos que son críticos para la supervivencia del individuo, considerados como recursos de primera necesidad. Algunos ejemplos incluyen: los medicamentos, los alimentos, etc.

43. Aquí se consideran aquellos productos que son necesarios para la supervivencia del Estado, las fronteras nacionales y las instituciones del país de cara a amenazas extranjeras e internas. Algunos ejemplos incluyen: material de defensa, productos críticos para las telecomunicaciones, etc.

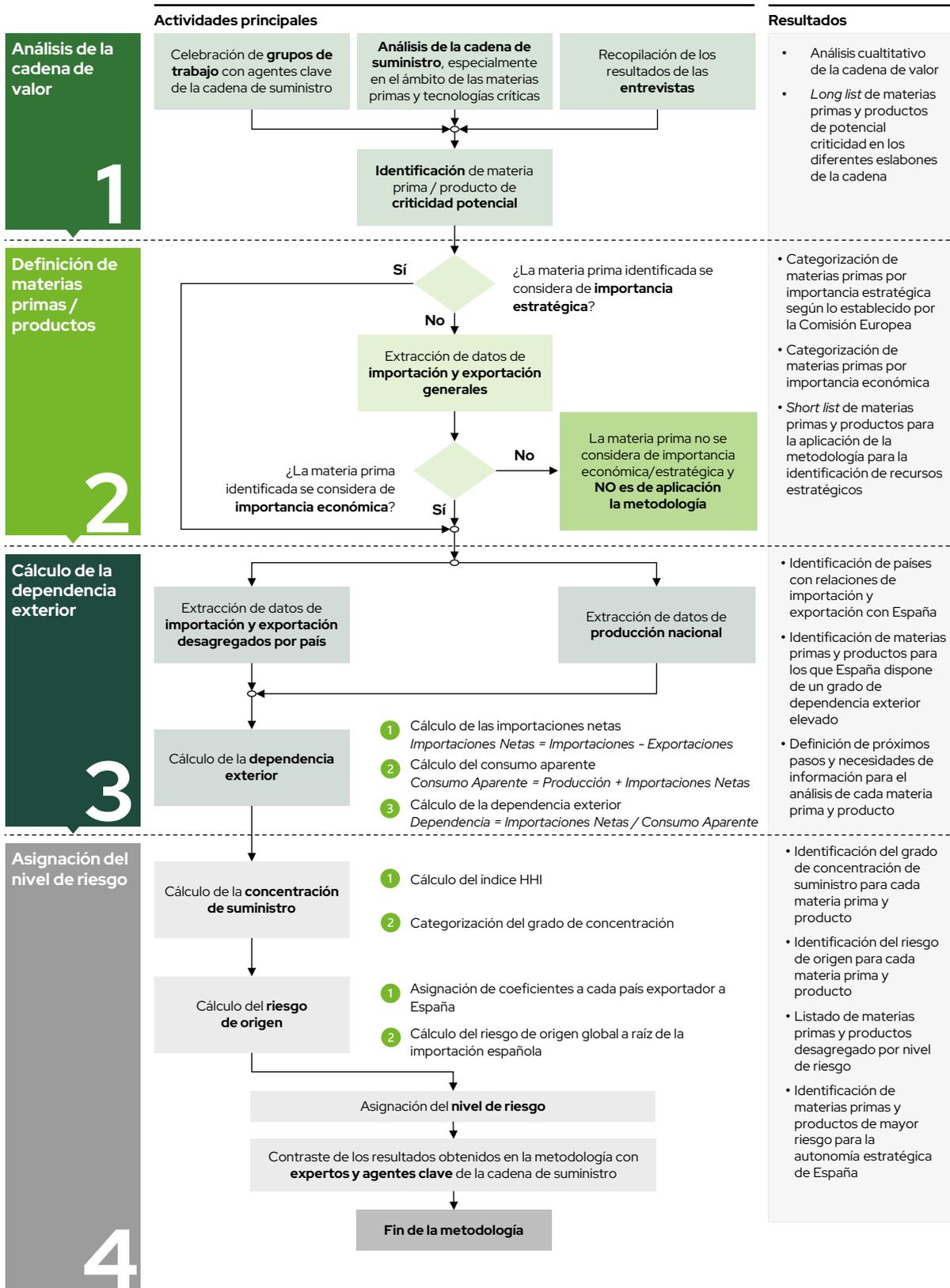
El segundo paso de la metodología consiste en analizar el grado de dependencia del exterior que tiene España para sus productos críticos y el riesgo asociado a la cadena de suministro de estos. Esto para un producto se entiende como la proporción del consumo nacional que depende de las importaciones de otros países.

Para aquellos productos críticos cuyo grado de dependencia exterior es alto, se analiza el riesgo de suministro directo, cuyo objetivo es entender el riesgo de interrupción de suministro en caso de crisis. Para ello, se analizan la concentración y el origen de suministro del producto crítico hacia España.

Para los productos críticos que España produce y que tienen un grado de dependencia del exterior bajo, se realiza un análisis de riesgo indirecto. Este tiene como objetivo identificar las vulnerabilidades en las cadenas de valor de estos productos, enfocándose en el riesgo asociado a los insumos necesarios para la producción. Finalmente, para aquellos productos en los que no se han detectado vulnerabilidades ni en su cadena de suministro ni en la de sus insumos, se analizará la escalabilidad de la producción nacional de cara a abastecer el consumo en caso de crisis de aumento de la demanda.

A continuación, para fomentar su entendimiento y aplicabilidad, la Figura 17 esquematiza con detalle dicha metodología:

FIGURA 17. Metodología para la identificación de recursos estratégicos, su grado de dependencia y riesgo de suministro



Fuente: Elaboración propia.

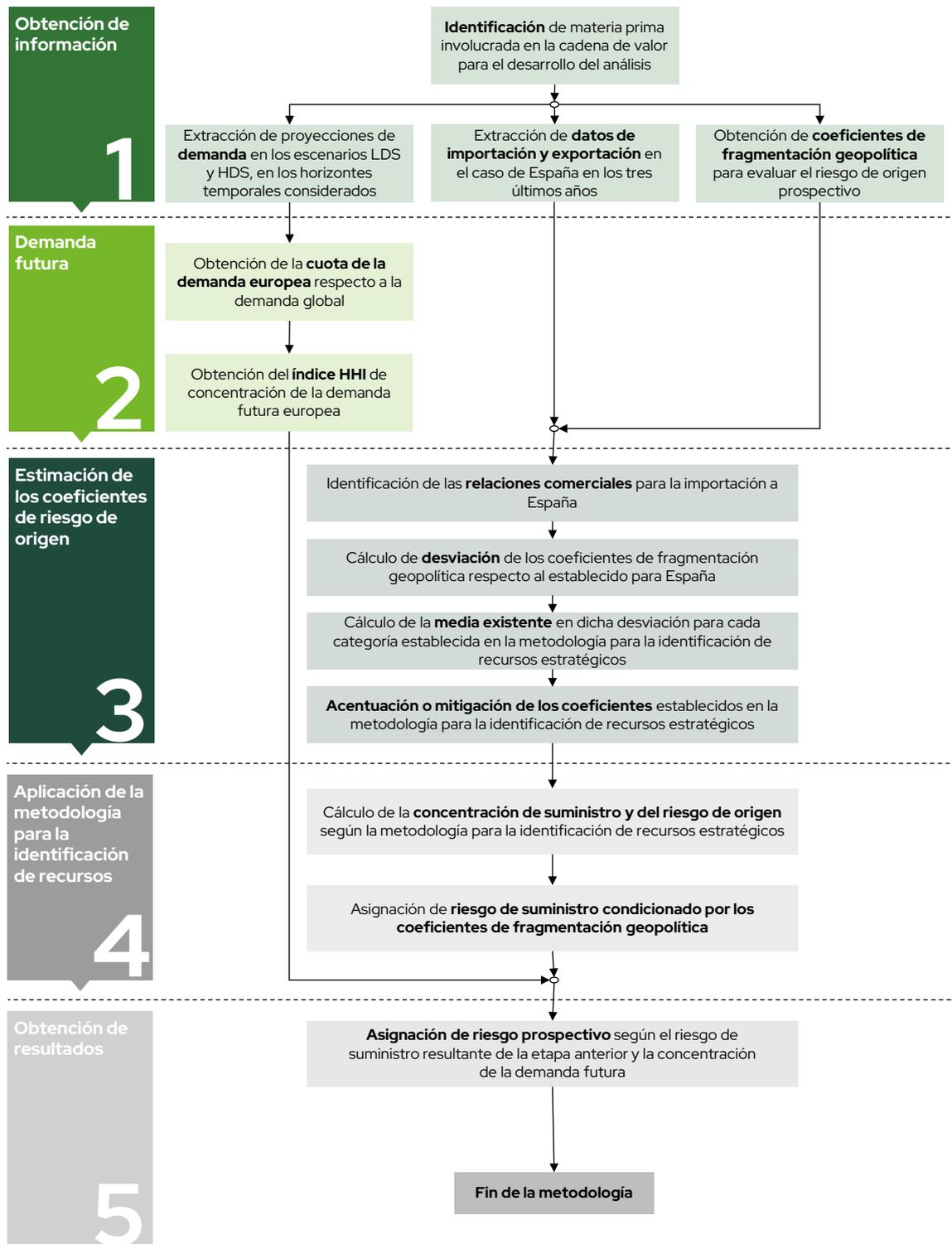
ANEXO II.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PROSPECTIVO DE CRITICIDADES Y VULNERABILIDADES

En este anexo se detalla la metodología utilizada para el análisis prospectivo del riesgo de suministro en la cadena de valor del hidrógeno verde. Esta metodología se aplica a cada una de las materias primas críticas, proporcionando una medida del riesgo futuro y permitiendo una comparativa global para identificar las más vulnerables en los horizontes de 2030 y 2050.

Tal y como se describe en la Figura 17, el análisis se desarrollará en varias etapas para cada materia prima identificada:

FIGURA 18. Metodología de análisis prospectivo de criticidades y vulnerabilidades



Fuente: Elaboración propia.

Obtención de información para el desarrollo del modelo

A continuación, se proceden a exponer las fuentes de información para el desarrollo del análisis prospectivo, así como la utilidad de las mismas para las etapas posteriores de análisis:

- Datos de importación y exportación de la materia prima en cuestión en el caso de España de los últimos 3 años⁴⁴: permitirán la obtención de la concentración de suministro, así como el riesgo de origen, para determinar el nivel de riesgo según lo establecido en la Metodología para la identificación de recursos estratégicos. Asimismo, dichos datos serán la base para poder proyectar el riesgo actual hacia escenarios futuros.
- Proyecciones de demanda en los escenarios LDS y HDS, en cada uno de los horizontes temporales considerados⁴⁵: permitirán la obtención de la demanda de cada una de las materias primas consideradas como medida adicional para formular el nivel de riesgo desde una visión prospectiva.
- Coeficientes de fragmentación geopolítica⁴⁶: permitirán definir posibles alteraciones en los coeficientes establecidos en la Metodología para la identificación de recursos estratégicos, considerando escenarios futuros de fragmentación geopolítica y la variación del riesgo de origen de las importaciones en consecuencia.

Cálculo de la concentración de la demanda futura

Tomando como referencia los datos extraídos del estudio elaborado por la Comisión Europea, se obtiene para cada materia prima la demanda proyectada en la Unión Europea y la demanda total en el mundo, de forma desagregada para los años 2030 y 2050 y para los escenarios LDS y HDS.

De esta forma, se obtiene la cuota de la demanda europea respecto al global de la siguiente forma:

$$\text{Cuota}_{\text{EU}} = \frac{\text{Demanda}_{\text{UE}}}{\text{Demanda}_{\text{Global}}} \times 100$$

Una vez obtenida dicha cuota y elevándola al cuadrado, se obtiene el índice HHI correspondiente, bajo el objetivo de obtener una medida de concentración de la demanda y, especialmente, del grado de concentración de la demanda en Europa respecto al resto del mundo:

$$\text{HHI}_{\text{DemandaUE}} = (\text{Cuota}_{\text{UE}})^2$$

44. [United Nations Comtrade Database](#).

45. [Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU - A foresight study](#), European Commission, 2023.

46. [La Unión Europea y España frente a los nuevos desafíos globales](#), Dirección General de Economía y Estadística, Banco de España, 2024.

En este sentido, y bajo el objetivo de contemplar la diferencia existente entre la concentración en términos de demanda y en términos de suministro, se deberán definir diferentes límites respecto a la Metodología para la identificación de recursos estratégicos, que permitan obtener una visión representativa del riesgo existente. De esta forma, un valor del índice inferior a 1.500 supondría una baja concentración de demanda, un índice entre 1.500 y 2.500 una concentración moderada y un índice superior a 2.500 una concentración alta.

Estimación de los coeficientes de riesgo de origen

En la Metodología para la identificación de recursos estratégicos, el riesgo de origen se basaba en las siguientes categorías fundamentales:

- Países de la UE: coeficiente de 0,5.
- Países de la OCDE: coeficiente de 0,75.
- Países fuera de la UE y de la OCDE: coeficiente de 1.

De esta forma, se obtenía una mayor ponderación en términos de riesgo en aquellos países exteriores a la UE y a la OCDE (más sujetos a posibles rupturas de las cadenas de suministro, modificación de políticas comerciales, etc.) y una menor ponderación en aquellos países pertenecientes a la UE, evaluando el riesgo global según la procedencia de las importaciones españolas.

En ese sentido, el Banco de España a través del estudio elaborado en el año 2024 denominado «La Unión Europea y España frente a los nuevos desafíos globales», establece un escenario hipotético de fragmentación en bloques (este, oeste y neutral), evaluando el perjuicio y la mejora de las relaciones comerciales entre los países a través de coeficientes de 'welfare' (entendidos como prosperidad y mantenimiento de las relaciones comerciales ante factores de coyuntura económica).

De esta forma, y bajo el objetivo de entender como los flujos comerciales van a variar y, por tanto, evaluar la criticidad del suministro en un horizonte a corto-medio-largo plazo, se procede a realizar los siguientes pasos de análisis basados en los coeficientes extraídos del estudio del Banco de España:

- Identificación de las relaciones comerciales para la importación de la materia prima en cuestión a España.
- Cálculo del grado de desviación de los coeficientes 'welfare' respecto al coeficiente establecido para España:

$$\text{Desv}_{\text{País,España}} = | \text{Coef}_{\text{País}} - \text{Coef}_{\text{España}} |$$

A dicho valor absoluto se le establece el signo (+) o (-) en función de si el coeficiente es superior o inferior al coeficiente de España, respectivamente, bajo el objetivo de determinar si la relación comercial con dicho país tiene un mayor riesgo de verse afectada a raíz de la fragmentación geopolítica (mayor riesgo mientras mayor y negativo sea dicho coeficiente).

- Cálculo de la media existente en dicha desviación para cada categoría establecida por la Metodología para la identificación de recursos estratégicos. Poniendo como ejemplo la categoría de los países dentro de la UE, para cada uno de estos países se realizaría:

$$\text{Media Desv}_{\text{Dentro UE}} = \frac{\sum \text{Desv}_{\text{países UE importan España}}}{\text{N.º países UE que importan a España}}$$

- Para cada una de las categorías correspondientes, se suma la desviación media identificada en dicha categoría, acentuando o mitigando el coeficiente establecido por la Metodología para la identificación de recursos estratégicos y obteniendo un nuevo coeficiente para el cálculo del riesgo de origen. De esta forma, se obtiene un nuevo coeficiente adaptado a escenarios futuros de riesgos derivados de la fragmentación geopolítica de los países y, además, se obtiene un valor único de cada coeficiente para cada materia prima, según sus relaciones de importación a España específica y los países que se vean involucrados en las mismas.

Cálculo de la concentración de suministro y del riesgo de origen

Una vez obtenidos dichos nuevos coeficientes y a través de los datos de importación a España en los años 2021, 2022 y 2023, se aplica la Metodología para la identificación de recursos estratégicos para determinar la concentración de suministro y el riesgo de origen, obteniendo en consecuencia un nuevo valor del riesgo de suministro adaptado a dichos futuros escenarios de fragmentación geopolítica y una visión prospectiva del escenario estático obtenido durante el análisis de la cadena de valor.

Análisis de riesgo prospectivo

La Tabla 18 ilustra como se relaciona el nuevo riesgo de suministro con la concentración de la demanda futura de materias primas en España. Este análisis prospectivo permite evaluar de manera más precisa los riesgos asociados a diferentes escenarios, destacando la interacción entre la concentración de la de demanda y los niveles de riesgo de suministro:

TABLA 18. Relación entre Riesgo de suministro y Concentración de la demanda futura

		RIESGO DE SUMINISTRO (CONDICIONADO POR LOS COEFICIENTES DE FRAGMENTACIÓN GEOPOLÍTICA)		
		BAJO	MEDIO	ALTO
CONCENTRACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA	ALTA	Medio	Alto	Alto
	MEDIA	Bajo	Medio	Alto
	BAJA	Bajo	Bajo	Medio

De esta forma, se obtiene una medida de impacto categorizada en los siguientes escenarios principales:

- Escenario de impacto reducido: se concentra en el caso en el que ambos factores registran unos niveles reducidos, identificando un bajo nivel de riesgo prospectivo, es decir, en el horizonte temporal de tiempo no se denotan factores de riesgo añadidos respecto al panorama actual (en términos de demanda y concentración y origen de las importaciones).
- Escenario de impacto moderado: se concentra en el caso en el que ambos factores muestran valores intermedios o en aquellos casos en el que uno de los factores muestra un valor elevado y el otro un valor reducido. Este escenario, a pesar de no señalar un escenario de criticidad previsible, debe ser tenido en especial consideración dado que podría suponer la aparición de riesgos y criticidades futuras ante los cambios en las proyecciones actuales.
- Escenario de impacto elevado: se concentra en el caso en que ambos factores registran unos niveles elevados, identificando un escenario de criticidad en el horizonte temporal considerado.

La medida de impacto expuesta y el escenario en consecuencia, será evaluado para cada uno de los horizontes temporales considerados (2030 y 2050) y para cada uno de los escenarios de demanda considerados por la Comisión Europea (LDS y HDS), permitiendo obtener la sensibilidad entre los mismos y diferentes hipótesis de proyección.

Vulnerabilidades asociadas a la **producción** de **baterías eléctricas**

Desafíos, capacidades
y oportunidades



CAMPUS MADRID

Avda. Gregorio del Amo, 6
Ciudad Universitaria
28040 Madrid
Tel: (+34) 91 349 56 00
informacion@eoi.es

CAMPUS SEVILLA

Leonardo da Vinci, 12
Isla de la Cartuja
41092 Sevilla
Tel: (+34) 95 446 33 77
infoandalucia@eoi.es

CAMPUS ELCHE

Presidente Lázaro Cárdenas del Río
Esquina C/ Cauce
Polígono Carrús
03206 Elche (Alicante)
Tel: (+34) 96 665 81 55
eoimediterraneo@eoi.es



www.eoi.es