



# ZIRKULAR BAT<sup>+</sup> EKOSISTEMA

## Análisis de Oportunidades de Negocio en la Economía Circular de las Baterías

**Informe estratégico**

**CIDETEC Energy Storage en colaboración con  
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa -  
NATURKLIMA**

**Marzo 2025**



## ZIRKULAR BAT+ EKOSISTEMA

### Informe Estratégico “Análisis de Oportunidades de Negocio en la Economía Circular de las Baterías”

CIDETEC Energy Storage en colaboración con Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa -  
NATURKLIMA

Marzo 2025





## Índice de contenido

<b>1</b>	<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>7</b>
2.1	Contexto.....	7
2.2	Objetivo .....	7
2.3	Estrategias para la Gestión Circular de las Baterías: Reutilización, Reconfiguración y Reciclaje .....	8
2.4	Estructura del informe .....	11
<b>3</b>	<b>Ámbitos de oportunidad.....</b>	<b>14</b>
3.1	<b>ÁMBITO I: Ecodiseño de baterías.....</b>	<b>14</b>
3.1.1	Reto .....	14
3.1.2	Oportunidades de negocio identificadas .....	16
3.2	<b>ÁMBITO II: Análisis de salud y Diagnóstico.....</b>	<b>19</b>
3.2.1	Reto .....	20
3.2.2	Oportunidades de negocio identificadas .....	22
3.3	<b>ÁMBITO III: Baterías de fin de vida. Logística y Marketplace.....</b>	<b>25</b>
3.3.1	Reto .....	25
3.3.2	Oportunidades de negocio identificadas .....	29
3.4	<b>ÁMBITO IV: Desensamblaje y desmantelado.....</b>	<b>36</b>
3.4.1	Retos.....	36
3.4.2	Oportunidades de negocio identificadas .....	37
3.5	<b>ÁMBITO V: Reparación de baterías.....</b>	<b>41</b>
3.5.1	Reto .....	41
3.5.2	Oportunidades de negocio identificadas .....	43
3.6	<b>ÁMBITO VI: Reconfiguración (<i>repurposing</i>) y segundos usos .....</b>	<b>46</b>
3.6.1	Retos.....	47
3.6.2	Oportunidades de negocio en la reconfiguración de baterías.....	48
3.7	<b>ÁMBITO VII: Reciclaje de baterías: producción de <i>black mass</i>.....</b>	<b>52</b>
3.7.1	Reto .....	52
3.7.2	Oportunidades de negocio identificadas .....	63
3.8	<b>ÁMBITO VIII: Refino de <i>black mass</i>.....</b>	<b>69</b>
3.8.1	Retos.....	69
3.8.2	Oportunidades identificadas .....	71



<b>3.9</b>	<b>ÁMBITO IX: Componentes Inertes</b>	<b>79</b>
3.9.1	Reto	79
3.9.2	Oportunidades identificadas	80
<b>3.10</b>	<b>ÁMBITO X: Digitalización y trazabilidad</b>	<b>81</b>
3.10.1	Retos	81
3.10.2	Oportunidades identificadas	83
<b>4</b>	<b>Estrategias empresariales integradas: creando sinergias en la economía circular de las baterías</b>	<b>86</b>
4.1	Análisis	87
<b>5</b>	<b>Ejemplos de iniciativas existentes</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>Consideraciones Finales</b>	<b>94</b>



## 1 Resumen Ejecutivo

Gipuzkoa disfruta de un rico entorno industrial y tecnológico alrededor de las energías renovables, el almacenamiento de energía y el reciclaje. Así, Gipuzkoa tiene la oportunidad de posicionarse como un territorio pionero en la generación de un ecosistema circular de baterías integrador y participativo, implicando a empresas, agentes sociales y entidades científico-tecnológicas. Promovido por Fundación NATURKLIMA y con el respaldo del Departamento de Sostenibilidad de la Diputación Foral de Gipuzkoa / Gipuzkoako Foru Aldundia, en 2023 se constituyó el foro ZIRKULAR BAT+ para dar respuesta a esta oportunidad. Dentro del marco de este foro, se han desarrollado varios informes estratégicos para dar contexto a la dinamización del sector relacionado con la economía circular de las baterías.

Este informe explora las oportunidades de negocio dentro de la economía circular de las baterías, abarcando toda la cadena de valor, desde el ecodiseño y la reutilización hasta el reciclaje avanzado. A lo largo del estudio, se han identificado y analizado 15 oportunidades concretas (OP1-OP15), diseñadas para ser viables tanto para emprendedores individuales como para grandes empresas con capacidad de inversión. El núcleo del informe se centra en analizar estas oportunidades individuales, planteándolas como iniciativas que pueden desarrollarse de manera independiente. En la parte final se ha realizado un breve análisis de algunas combinaciones estratégicas de estas oportunidades, mostrando cómo su integración puede dar lugar a negocios de más recorrido, con un mayor impacto y valor añadido.

### Principales oportunidades de negocio identificadas

Las oportunidades analizadas pueden agruparse en tres grandes bloques en función de su rol dentro de la economía circular de las baterías:

1. **Actividades iniciales y de soporte:** Incluyen servicios de ecodiseño (OP1), diagnóstico de baterías (OP2), logística especializada (OP3), plataformas de comercialización (*marketplace*, OP4 y OP5) y digitalización (*Battery Passport*, OP15). Estas oportunidades permiten mejorar la trazabilidad y optimizar la gestión de baterías al final de su primera vida.
2. **Extensión de la vida útil:** Comprende actividades relacionadas con el desensamblaje, la reparación y la reutilización de baterías. Destacan las oportunidades en desensamblaje (OP6 y OP7), reparación (OP8) y rediseño para aplicaciones de segunda vida (OP9). Estos modelos de negocio pueden aportar un alto valor añadido y reducir la dependencia de materiales vírgenes.
3. **Reciclaje y recuperación de materiales:** Incluye oportunidades relacionadas con el procesamiento y refinado de *black mass*. En este ámbito, las oportunidades van desde la producción de *black mass* (OP10 y OP11), su refinado mediante hidrometalurgia (OP12 y OP13), hasta la producción de materiales activos de cátodo reciclados (OP14). La integración de estos



procesos permite reducir el impacto ambiental y aumentar la autonomía en el suministro de materiales críticos.

### Combinaciones estratégicas y modelos de negocio integrados

Asimismo, el informe ha explorado posibles combinaciones que pueden generar modelos de negocio más robustos y competitivos. Algunas de las principales estrategias detectadas son:

- **Integración del diagnóstico y desensamblaje:** La combinación de diagnóstico (OP2) y desensamblaje (OP7) permite optimizar la gestión de baterías al final de su primera vida, facilitando la reutilización a nivel de módulo o celda, de forma que puedan aprovecharse aquellos componentes no dañados y con estado de salud suficiente para una segunda vida y reciclarse sólo los que no cumplen los criterios de seguridad y salud necesarios.
- **Plataformas digitales para conectar actores de la cadena de valor:** La implementación de diversos *marketplace* (OP4, OP5) y la digitalización (OP15) pueden mejorar la trazabilidad y la eficiencia en la comercialización de baterías y materiales reciclados.
- **Expansión de la cadena de valor del reciclaje:** A modo de progresión natural desde la producción de *black mass* (OP11) hasta su refinado y reaprovechamiento en la fabricación de nuevos materiales para baterías (OP12, OP13, OP14).
- **Modelos de negocio tipo *Recycling as a Service* (RaaS):** Este enfoque, propio de grandes corporaciones, integra toda la cadena de valor del reciclaje, desde la recogida y diagnóstico hasta el reprocesado y reutilización de materiales.

### Factores clave para el desarrollo del sector

El informe destaca varios factores clave que influirán en la viabilidad de estas oportunidades de negocio:

1. **Regulación y sostenibilidad:** La Regulación Europea de Baterías impone requisitos estrictos sobre trazabilidad, reciclabilidad y contenido reciclado, lo que convierte la digitalización en un factor crítico.
2. **Innovación y desarrollo tecnológico:** Las oportunidades en desensamblaje, diagnóstico y reciclaje dependen en gran medida de avances tecnológicos que permitan mejorar la eficiencia y reducir costes. Este ámbito será objeto de un informe estratégico posterior.
3. **Creciente demanda de soluciones circulares:** La presión regulatoria y la concienciación ambiental impulsan la adopción de modelos de negocio sostenibles, lo que genera un entorno favorable para nuevas iniciativas.
4. **Colaboración entre actores del sector:** La integración de servicios a lo largo de la cadena de valor requerirá alianzas estratégicas entre fabricantes, recicladores y desarrolladores de tecnología.



## 2 Introducción

### 2.1 Contexto

Nos dirigimos hacia un escenario global donde la sostenibilidad, especialmente en el ámbito energético, jugará un papel central. La expansión de las energías renovables y la progresiva electrificación de la economía posicionan a las baterías electroquímicas como una tecnología clave para facilitar esta transición. En este contexto, todos los indicadores apuntan a un crecimiento exponencial en la fabricación y comercialización de baterías en diversos sectores, particularmente en la electromovilidad, dando lugar a lo que algunos expertos denominan una “avalancha de baterías” en los próximos años.

Este escenario refuerza la necesidad de garantizar la sostenibilidad de las propias baterías, un aspecto que está adquiriendo una importancia creciente en la agenda política y regulatoria, especialmente en el marco europeo. Las iniciativas y normativas impulsadas desde las instituciones comunitarias subrayan la urgencia de adoptar modelos circulares que optimicen el uso de materiales críticos, reduzcan la huella ambiental y refuercen la seguridad del suministro de materias primas estratégicas.

En el ámbito local, este informe se enmarca en el ecosistema ZIRKULAR BAT+, una iniciativa que busca consolidar un *hub* de referencia en la economía circular de las baterías en Gipuzkoa. Impulsado desde 2022 por el Departamento de Sostenibilidad de Gipuzkoako Foru Aldundia / Diputación de Gipuzkoa, junto con la Fundación NATURKLIMA y CIDETEC Energy Storage, este ecosistema actúa como un punto de encuentro para empresas y agentes clave del sector. Su objetivo es promover la colaboración, el desarrollo tecnológico y la implantación de soluciones innovadoras que permitan abordar los retos y oportunidades de la economía circular de las baterías, contribuyendo así al posicionamiento estratégico de Gipuzkoa en este ámbito emergente.

### 2.2 Objetivo

El presente informe tiene como objetivo proporcionar una introducción a los retos y oportunidades que la nueva economía circular de las baterías plantea para el ecosistema local de actores. Su propósito es facilitar la identificación de ámbitos con potencial para el desarrollo de nuevas iniciativas de negocio, alineadas con la transformación del sector.

Los ambiciosos objetivos de circularidad en la industria de las baterías requieren la aparición de nuevos servicios y actores que, en muchos casos, aún no existen o se encuentran en fases incipientes de desarrollo. En este contexto, resulta clave interpretar estos nichos emergentes como oportunidades estratégicas, capaces de generar valor añadido y consolidar un ecosistema industrial competitivo.



Este informe pone el acento en cómo estos modelos de negocio pueden maximizar su impacto social y económico en el entorno local, fomentando la generación de empleo, la atracción de inversión y el fortalecimiento del tejido tecnológico e industrial vinculado a la cadena de valor de las baterías.

Los objetivos específicos del informe son:

- **Identificar** los principales retos y necesidades en el ámbito de la economía circular de las baterías.
- **Destacar** las oportunidades de creación de nuevos negocios desde la perspectiva de la implicación de actores locales.
- **Recoger** un abanico amplio de oportunidades de negocio, accesibles tanto para emprendedores particulares como para corporaciones ya establecidas en el mercado.
- **Proporcionar** elementos de juicio con un enfoque inspirador e ilustrativo, facilitando la identificación de iniciativas estratégicas.
- **Ofrecer** una visión cualitativa que ayude a contextualizar el potencial de la economía circular de las baterías.

Es importante matizar qué aspectos quedan **fuera del alcance de este informe**:

- No pretende ser un tratado exhaustivo sobre el estado del arte de la industria de las baterías.
- No constituye un plan de negocios, sino un marco de referencia para identificar oportunidades.
- No busca abarcar toda la industria, tecnología y normativa de las baterías, sino focalizarse en los aspectos relacionados directamente con la sostenibilidad y la economía circular.
- No es una guía de interpretación o aplicación de la nueva regulación, aunque incorpora referencias a su impacto en el desarrollo de oportunidades de negocio.

Este enfoque permite centrar el análisis en aquellos aspectos clave que pueden impulsar el desarrollo de un ecosistema industrial competitivo y alineado con los principios de sostenibilidad y eficiencia en el uso de recursos.

### 2.3 Estrategias para la Gestión Circular de las Baterías: Reutilización, Reconfiguración y Reciclaje

El mercado global de baterías de litio ion está en plena expansión. En 2022, la demanda anual alcanzó aproximadamente 750 GWh y se espera que para 2030 se multiplique por seis, superando los 4.500 GWh. El principal impulsor de este crecimiento es el auge de los vehículos eléctricos de batería (BEV), que representarán más del 47% de los vehículos ligeros vendidos a nivel mundial, elevando la demanda de baterías de 490 GWh a casi 3.300 GWh. Sin embargo, no es el único mercado en expansión; los vehículos

comerciales y el almacenamiento estacionario de energía (ESS) también están contribuyendo a este incremento.

### Market demand for Li-ion and Na-ion batteries by application [GWh]

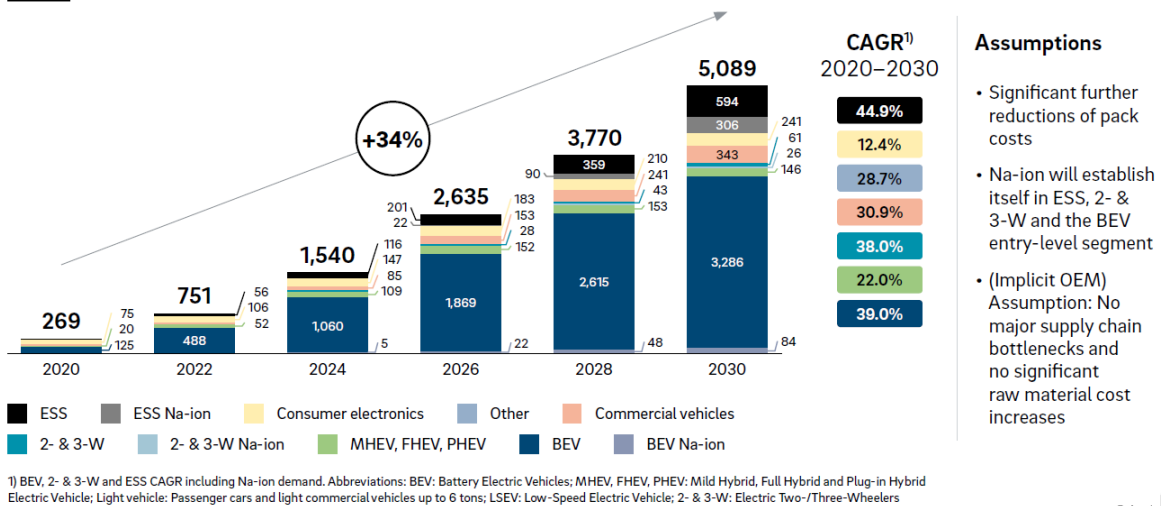


Figura 1: Demanda de mercado (GWh) para baterías de litio ion y sodio ion por aplicación para 2030

(Fuente: IHS, SMM, Roland Berger)

Dado este crecimiento, la economía circular de las baterías cobra un papel fundamental en la industria. Existen tres alternativas principales cuando una batería alcanza el final de su vida útil:

1. **Reutilización en la misma aplicación:** Algunas baterías moderadamente envejecidas pueden ser reparadas, reacondicionadas o remanufacturadas para seguir en uso en su aplicación original. Esta opción es viable cuando el estado de salud (SoH) de la batería es bueno y puede ofrecer una solución al desajuste entre oferta y demanda de repuestos en el futuro.
2. **Reutilización en una aplicación diferente (Reconfiguración):** Las baterías que ya no cumplen con los requisitos de su aplicación original pueden aprovecharse en usos menos exigentes, como el almacenamiento estacionario de energía. Esto es especialmente relevante en químicas como LFP (fosfato de litio y hierro), que tienen una vida útil más larga pero menor atractivo comercial para el reciclaje. Esta opción permite reducir el coste por ciclo de carga frente a baterías nuevas.
3. **Reciclaje para recuperar materiales valiosos:** El reciclaje cierra el ciclo de los materiales, reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes y sus impactos ambientales y geopolíticos. A medida que más baterías lleguen al final de su vida útil, el reciclaje se convertirá en un pilar clave para garantizar un suministro sostenible de materiales críticos.

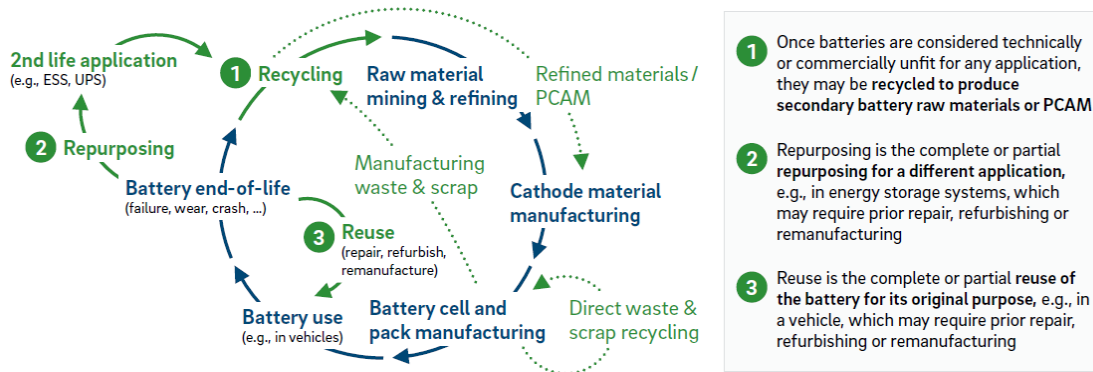


Figura 2: Economía circular: opciones para alargar la vida útil de una batería

(Fuente: Roland Berger)

La elección entre estas opciones depende de múltiples factores, como el coste de compra y reutilización frente a baterías nuevas, los costes por ciclo de carga y las exigencias regulatorias, en particular la Regulación Europea de Baterías (2023).

La responsabilidad ampliada del productor en la UE obliga a los fabricantes a gestionar baterías desechadas, lo que puede hacer que la recuperación de materiales críticos sea más rentable que la venta de baterías reutilizadas. Además, si los materiales reciclados alcanzan precios más altos o se convierten en requisito normativo para nuevos productos, el reciclaje se posicionará como una opción prioritaria, incluso para baterías que aún podrían reutilizarse.

<p><b>Battery second life</b> (via reuse or repurposing)</p> <p><b>Suitability &amp; SoH</b> Battery design and chemistry must be suitable and remaining SoH and cycles sufficient for new application/use case</p> <p><b>Economics</b> Purchase price plus repurposing cost and remaining cycles (cost per cycle) must be lower than new batteries</p> <p><b>Available volumes</b> Sufficient volumes of used batteries necessary to ensure grouping (usage of battery cells with similar SoH)</p>	<p><b>Battery recycling</b></p> <p><b>Regulatory compliance</b> Battery producers are obligated to recycle waste batteries and to meet min. recycling content targets for new batteries</p> <p><b>Economics</b> High share of valuable materials (e.g., nickel and cobalt) and high spot-market prices for battery raw materials drive recycling business case</p> <p><b>Available volumes</b> Low volumes can be bundled by different categories (e.g., type, chemistry, player) to achieve necessary scale for recycling</p>
---	--

Figura 3: Factores relevantes a tener en cuenta sobre qué opciones presenta una batería al final de su

vida útil (Fuente: Roland Berger)

## 2.4 Estructura del informe

Como parte de las actividades de ZIRKULAR BAT+, se ha definido una cadena de valor de referencia que estructura los principales bloques de actividad dentro de la economía circular de las baterías. Esta cadena de valor fue presentada inicialmente en el informe “Análisis integral de la Cadena de Valor de las baterías” (2023) y, desde entonces, ha sido revisada y optimizada gracias a la colaboración de los miembros del *hub*. En la figura siguiente se presenta su versión actualizada, reflejando los avances y nuevas perspectivas surgidas en este proceso.

CADENA DE VALOR SIMPLIFICADA de un Ecosistema Circular de Baterías

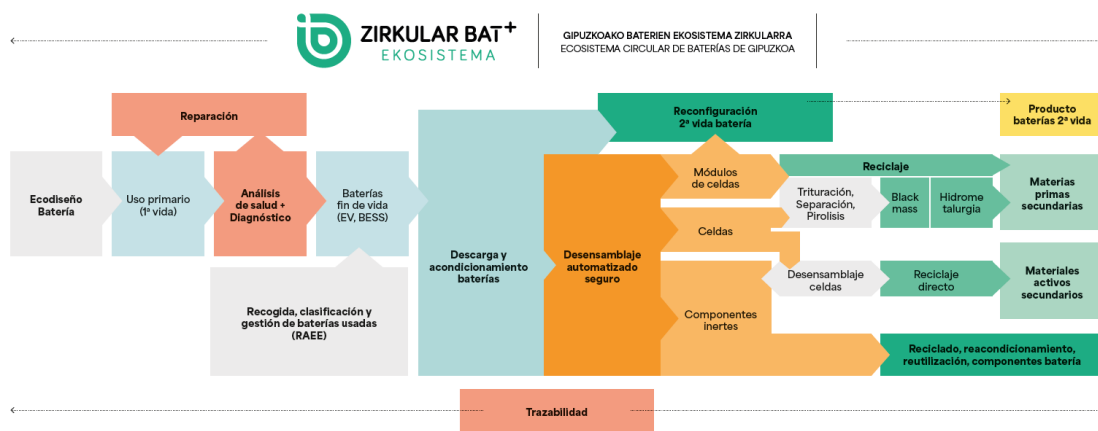


Figura 4: Versión revisada de la cadena de valor ZIRKULAR BAT+

Dada la amplitud de esta cadena de valor, las oportunidades de negocio que pueden derivarse de ella son variadas en términos de estructura, alcance y grado de inversión requerido. Por un lado, iniciativas de gran envergadura, como la creación de una planta de reciclaje integral de baterías, pueden suponer inversiones multimillonarias y estar al alcance de un número limitado de actores, incluso a nivel internacional. Sin embargo, también existen oportunidades más accesibles, como la creación de talleres especializados en diagnóstico de baterías, cuyo objetivo sea evaluar su viabilidad para la reutilización o determinar si deben enviarse a reciclaje. Este tipo de iniciativas pueden representar un modelo de negocio viable para emprendedores o inversores con un enfoque más focalizado y un menor riesgo asociado.

En este sentido, el presente documento presenta este espectro de oportunidades, ofreciendo un análisis genérico que pueda ser útil tanto para pequeños emprendedores como para empresas consolidadas que busquen diversificar su actividad o adentrarse en nuevos modelos de negocio dentro de la economía circular de las baterías.

Para ello, la estrategia adoptada en este informe consiste en analizar cada elemento de la cadena de valor de la economía circular de las baterías, identificando las iniciativas más específicas que pueden

transformarse en oportunidades de negocio viables por sí mismas. Un ejemplo de ello sería el mencionado taller especializado en el diagnóstico diferencial de baterías fuera de uso, con el propósito de determinar si deben ser recicladas o si pueden destinarse a una reutilización. Sin duda, esta operación podría formar parte de una iniciativa industrial de mayor alcance, pero también representa una oportunidad para un emprendedor que pueda ofrecer un servicio especializado con un valor añadido dentro del ecosistema.

Asimismo, es posible imaginar modelos de negocio de mayor envergadura que integren varias de estas oportunidades dentro de un mismo plan estratégico. Siguiendo el ejemplo anterior, podría desarrollarse una planta integral que reciba vehículos eléctricos al final de su vida útil y que, dentro de la misma instalación, realice todas las operaciones necesarias: extracción de baterías, diagnóstico, desensamblaje, reconfiguración para segunda vida cuando sea viable y, finalmente, reciclaje de los componentes no reutilizables. Cada una de estas actividades, vistas de manera individual, podría representar una oportunidad de negocio por sí misma, y algunas de ellas incluso serían accesibles para pequeños emprendedores con la capacidad de desarrollar soluciones especializadas.

Para reflejar de manera clara este mapa de oportunidades, se han definido un total de 10 ámbitos de oportunidad dentro del diagrama de la cadena de valor ZIRKULAR BAT+, destacando aquellos espacios en los que existe un mayor potencial para la creación de iniciativas empresariales alineadas con la economía circular de las baterías.

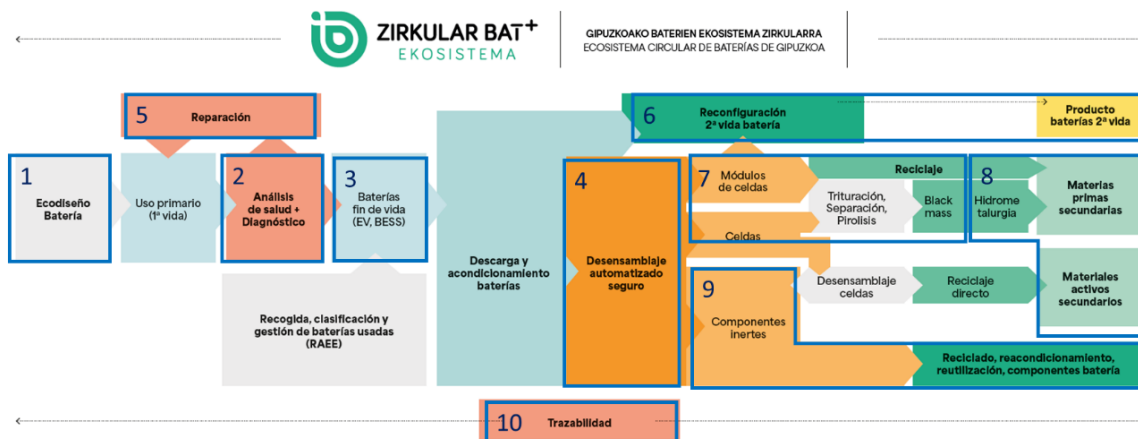


Figura 5: Mapa de ámbitos de oportunidad sobre la cadena de valor ZIRKULAR BAT+

Los ámbitos seleccionados son:

1. Ecodiseño de baterías
2. Análisis de salud y diagnóstico
3. Baterías de fin de vida: logística y *marketplace*



4. Desensamblaje y desmantelado
5. Reparación de baterías
6. Reconfiguración (*repurposing*) y segundos usos
7. Reciclaje de baterías: producción de *black mass*
8. Refino de *black mass*
9. Componentes inertes
10. Digitalización y trazabilidad

A lo largo de este documento se desarrollará cada uno de estos ámbitos, dando contenido a capítulos individuales donde se presentará el reto, las necesidades que de él se derivan, y una presentación de las principales oportunidades de negocio individuales identificadas.

## 3 Ámbitos de oportunidad

A continuación, se presenta un análisis detallado de los distintos ámbitos de oportunidad previamente identificados dentro de la cadena de valor ZIRKULAR BAT+. Este recorrido permitirá comprender cómo cada eslabón del proceso contribuye a la economía circular de las baterías y qué oportunidades estratégicas pueden desarrollarse en cada fase.

### 3.1 ÁMBITO I: Ecodiseño de baterías

El diseño de baterías ha evolucionado en función de distintos objetivos industriales, desde la eficiencia energética hasta la optimización de la gestión térmica. Aunque en el pasado existían *battery packs* modulares con celdas reemplazables con relativa facilidad, como en los vehículos híbridos eléctricos (HEV) como el Nissan Leaf y el Toyota Prius, en los últimos años, las estrategias de fabricación han priorizado la integración de componentes, reduciendo así su intercambiabilidad. Esta tendencia, impulsada por la búsqueda de mayor densidad energética y sistemas de enfriamiento más eficientes, ha generado nuevos desafíos en términos de reparabilidad y circularidad.

Adicionalmente la Regulación de Baterías ha introducido nuevos requerimientos de ecodiseño obligatorios, como la utilización de determinados porcentajes de materiales críticos reciclados en la fabricación de las baterías.

#### 3.1.1 Reto

El uso de adhesivos estructurales en el pasado reciente, si bien facilita el ensamblaje, dificulta la reparación, la remanufactura, la reutilización y el reciclaje. Esto implica que un fallo en una celda puede requerir la sustitución del *battery pack* completo, elevando los costes de mantenimiento, incrementando el impacto ambiental y reduciendo la aceptación del consumidor. Movimientos como el "derecho a reparar" (*right to repair*) están cobrando relevancia a nivel global, demandando productos diseñados para ser más accesibles y sostenibles.

El ecodiseño se presenta como una estrategia clave para transformar este reto en una oportunidad de negocio. Al integrar principios de circularidad desde la fase de diseño, se pueden optimizar la reutilización, la reparación y el reciclaje de las baterías, minimizando el consumo de recursos y generando nuevas oportunidades económicas. En este contexto, fabricantes de automoción (OEMs) están adoptando enfoques innovadores, como la estandarización de *battery packs* y el diseño modular, que permiten extender la vida útil de los componentes, reducir costes operativos y mejorar la rentabilidad a lo largo de la cadena de valor.



Un enfoque disruptivo en esta línea es el *multi-life design*, que busca maximizar el uso de cada batería a través de múltiples ciclos de vida, facilitando su aprovechamiento en aplicaciones secundarias y promoviendo modelos de negocio basados en el aprovechamiento de activos energéticos. Estas estrategias no solo contribuyen a la sostenibilidad, sino que también abren nuevas oportunidades para el emprendimiento y la generación de empleo en sectores emergentes de la economía circular.

### Diseñado para reciclar

El panorama actual de fabricación de baterías está dominado por arquitecturas de *battery packs* con celdas pequeñas y múltiples uniones, facilitando la producción a gran escala, en ocasiones dificultando la reparación y el reciclaje. Las pestañas eléctricas suelen estar soldadas y las celdas adheridas con compuestos funcionales para la gestión térmica, lo que complica su desmontaje y reutilización.

El concepto de "diseño para reciclar" (*design for recycling*) está emergiendo como una estrategia clave para la industria. Diseñar baterías con criterios de reciclabilidad no solo facilita la extracción y reutilización de componentes valiosos, sino que también genera oportunidades para nuevos modelos de negocio basados en la recuperación de materiales críticos y la remanufactura. Esto permite la creación de cadenas de suministro más resilientes, reduce la dependencia de materias primas vírgenes y estimula la innovación en la industria de reciclaje de baterías.

Algunas tendencias de diseño ya están incorporando celdas más grandes -concepto *cell to pack* y *cell to chassis*- con menos uniones, lo que simplifica la reparación y mejora la viabilidad económica del reciclaje. Este cambio representa una oportunidad estratégica tanto para fabricantes como para *startups* que deseen desarrollar tecnologías innovadoras en el desmontaje automatizado y la recuperación eficiente de materiales.

### Diseño para favorecer el intercambio de baterías

La transición hacia modelos de negocio circulares, como el leasing de baterías o los sistemas de intercambio (*battery swapping*), también se verá favorecida por el ecodiseño, permitiendo el intercambio rápido y automatizado de baterías descargadas o semidescargadas por otras equivalentes. Sin embargo, estos modelos de negocio alternativos requieren un esfuerzo de estandarización, así como infraestructuras apropiadas. Todavía hay muchos obstáculos que superar, el principal de ellos persuadir a los OEMs para que aceleren la adopción de diseños de paquetes de baterías estandarizados renunciando a sus diseños propietarios. Adicionalmente, la tendencia hacia baterías estructurales y diseños *cell to pack* contribuirá a dificultar el intercambio de baterías.



## Innovación en ecodiseño impulsada por la Regulación de Baterías

La Unión Europea ha impulsado la adopción del *Battery Passport*, un registro digital que documentará la trazabilidad de cada batería a lo largo de su ciclo de vida. Esta iniciativa, alineada con los principios de la economía circular, se convertirá en un factor determinante en el diseño y producción de baterías, promoviendo prácticas más sostenibles y transparentes.

Los fabricantes y emprendedores que se adelanten a estos cambios regulatorios podrán aprovechar ventajas competitivas en mercados que valoran la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. La adaptación a estos estándares no solo será una obligación legal, sino también un diferenciador clave en un sector cada vez más orientado a la eficiencia y la circularidad.

Principales requisitos y oportunidades de innovación:

1. Uso de materiales y procesos sostenibles desde la etapa de diseño, favoreciendo la reducción del impacto ambiental y la seguridad de los componentes.
2. Minimización de emisiones y huella de carbono en la producción y uso de baterías, alineándose con los objetivos globales de descarbonización.
3. Facilitación del reciclaje y reutilización, incorporando soluciones de diseño que permitan el desmontaje eficiente y la recuperación de materiales de alto valor.

Más allá del cumplimiento normativo, estas exigencias impulsarán la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías que permitan extender la vida útil de las baterías y optimizar su eficiencia. Esto abre un abanico de oportunidades para *startups* y empresas tecnológicas que innoven en el ámbito de la reutilización de materiales, el almacenamiento de energía en segunda vida y la digitalización del seguimiento de los componentes.

El ecodiseño de baterías, más que un desafío, representa una de las principales oportunidades de crecimiento en la economía circular. Aquellas empresas que lideren este cambio no solo contribuirán a la sostenibilidad del sector, sino que también se posicionarán en la vanguardia de un mercado en plena transformación, generando riqueza, empleo y nuevas oportunidades de emprendimiento.

### 3.1.2 Oportunidades de negocio identificadas

El ecodiseño de baterías no solo es un elemento clave en la producción, gestión y reutilización de estos sistemas, sino que también representa una oportunidad de negocio en sí mismo. Si bien debe integrarse en toda operación, producto o servicio relacionado con las baterías, su complejidad y especialización abren la puerta a la creación de oficinas de diseño especializadas que ofrezcan servicios de valor añadido a fabricantes, recicladores y otros actores que prefieran externalizar esta función.



Además, su impacto se extiende a toda la cadena de valor, impulsando el desarrollo de nuevos materiales sostenibles, modelos de segunda vida, tecnologías digitales para la trazabilidad y soluciones de reciclaje más eficientes. Este enfoque no solo reduce costos y optimiza recursos, sino que también permite acceder a nuevos mercados y generar empleo en un sector en expansión.

En este contexto, el ecodiseño no es solo una herramienta para fortalecer la circularidad de las baterías, sino también un modelo de negocio con alto potencial de crecimiento, posicionándose como un servicio estratégico para la industria en su transición hacia la sostenibilidad:

OP1: Servicios de ecodiseño de baterías	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingeniería / estudio de diseño de baterías atendiendo a criterios de sostenibilidad, evitando o minimizando uniones irreversibles -encolados, soldaduras.</li> <li>• Identificación y uso de materiales y componentes reciclados y reciclables.</li> <li>• Generación de instrucciones de desensamblaje/ensamblaje para el <i>Battery Passport</i>.</li> <li>• Estudios de impacto medioambiental y análisis de ciclo de vida (LCA).</li> </ul>
<b>2. Modelo de negocio</b>	<p>Este servicio es planteable como una consultoría especializada accesible desde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativas de emprendimiento individual, con un enfoque en la innovación sostenible.</li> <li>• Empresas emergentes del sector energético y de movilidad sostenible, interesadas en optimizar sus procesos de producción.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultoría en ecodiseño y optimización de baterías.</li> <li>• Desarrollo de estudios de impacto ambiental y análisis de ciclo de vida.</li> <li>• Generación de certificaciones de sostenibilidad y cumplimiento normativo.</li> <li>• Venta de <i>software</i> y herramientas digitales para modelado y simulación de ecodiseño.</li> </ul>



OP1: Servicios de ecodiseño de baterías	
<b>3. Mercado objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes de baterías y desarrolladores de módulos y <i>battery packs</i> que buscan optimizar sus productos para alinearse con regulaciones ambientales y criterios de sostenibilidad.</li> <li>• Empresas tecnológicas interesadas en mejorar la eficiencia y reciclabilidad de sus productos energéticos.</li> <li>• Inversores y organizaciones enfocadas en energías renovables y economía circular.</li> </ul>
<b>4. Capacidades requeridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento avanzado en diseño de baterías y tecnologías de almacenamiento de energía.</li> <li>• Experiencia en diseño industrial, ecodiseño y principios de economía circular.</li> <li>• Dominio de metodologías de análisis de ciclo de vida (LCA) y evaluación de impacto ambiental.</li> <li>• Capacidad de integrar regulaciones ambientales en el proceso de diseño.</li> </ul>
<b>5. Infraestructura y equipamiento necesario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Software</i> especializado de diseño y simulación de baterías.</li> <li>• Herramientas informáticas para análisis de impacto ambiental y modelado de ciclo de vida.</li> <li>• Acceso a bases de datos de materiales reciclados y reciclables.</li> </ul>
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostenibilidad como factor diferencial: en un mercado cada vez más regulado y orientado a la economía circular, el ecodiseño permite a los fabricantes diferenciarse y cumplir con normativas ambientales.</li> <li>• Optimización de costos y eficiencia: diseños modulares y reciclables reducen costos de producción, mantenimiento y gestión de residuos.</li> <li>• Acceso a mercados verdes: empresas que adopten estas prácticas pueden acceder a incentivos fiscales y financiamiento sostenible.</li> <li>• Cumplimiento normativo: facilita la adaptación a regulaciones ambientales emergentes, reduciendo riesgos legales y financieros.</li> </ul>

### 3.2 ÁMBITO II: Análisis de salud y Diagnóstico

El principio fundamental de la cadena de valor circular de las baterías es, en sentido amplio, priorizar la reutilización sobre el reciclaje, ya que permite prolongar su vida útil, reducir la demanda de nuevas materias primas y minimizar el impacto ambiental. Para ello, es fundamental realizar una evaluación precisa y fiable del estado de salud de la batería y de su vida remanente. Las opciones principales tras la evaluación son:

1. Reutilización en su aplicación original: Si la batería mantiene un rendimiento adecuado, puede volver a ser integrada en la aplicación original, reduciendo costos para fabricantes y usuarios finales.
2. Reutilización en aplicaciones menos exigentes: Las baterías con menor capacidad pueden ser empleadas en sistemas con requerimientos inferiores a los de la aplicación original. Por ejemplo, las baterías de vehículos eléctricos pueden ser reutilizadas en sistemas de almacenamiento de energía estacionaria, microrredes o soluciones industriales.
3. Reciclaje: Si la batería no es económicamente viable para su reutilización, debe ser reciclada para recuperar materiales estratégicos como litio, cobalto y níquel, minimizando residuos y asegurando el abastecimiento de materias primas críticas.

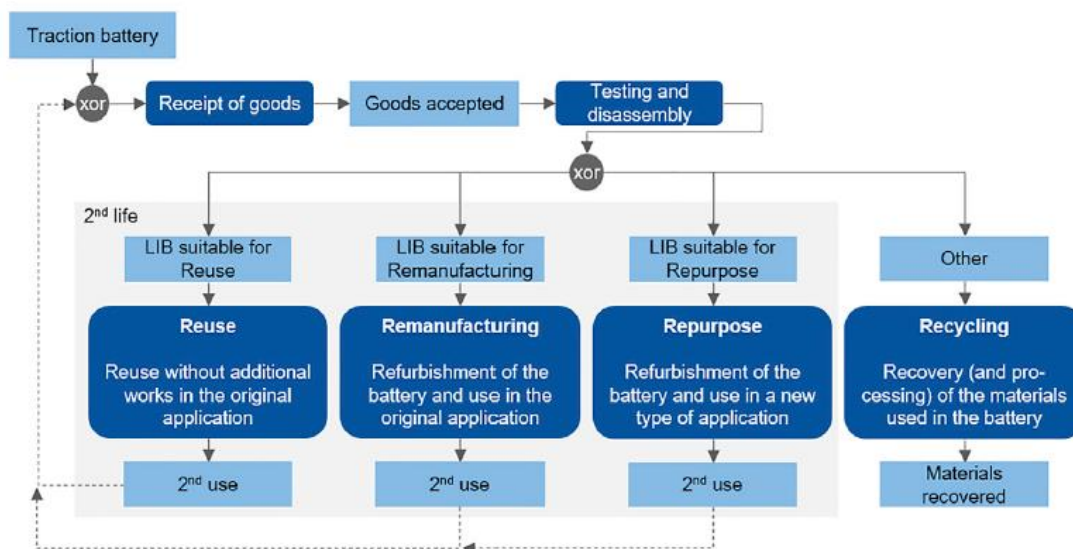


Figura 6: Descripción genérica sobre el proceso utilizado para determinar el destino de las baterías que se encuentran al final de su vida útil.

El final de la vida útil (*End of Life*, EoL) de una batería se define generalmente cuando su capacidad cae entre un 20% y un 30% respecto a su capacidad inicial. Esta estimación se realiza a través del Sistema de Gestión de Baterías (*Battery Management System*, BMS), que monitoriza parámetros clave como voltaje, corriente y temperatura. Sin embargo, la degradación de cada batería individual dependerá de las



condiciones en las que ha sido utilizada (condiciones ambientales, patrones de carga y descarga, etc.) Además, la degradación no es homogénea, y el rendimiento de una batería puede verse limitado por su celda o módulo más débil. Para evitar retirar prematuramente módulos o celdas que aún son funcionales, es necesario desarrollar técnicas de diagnóstico fiables que ayuden a clasificarlos según su estado para decidir su posible reutilización en la misma u otra aplicación, manteniéndolos de este modo durante mayor tiempo en el ciclo económico y contribuyendo a la sostenibilidad medioambiental.

### 3.2.1 Reto

Determinar con precisión el SoH y la vida útil remanente de una batería usada es un desafío técnico y comercial, ya que hay diversos factores influyen en la degradación y sólo es posible conocer con certeza el estado de las celdas (ánodo, cátodo, separador, colectores de corriente...) mediante métodos destructivos. Sin embargo, para poder reutilizar las celdas, deben utilizarse técnicas no destructivas.

Una evaluación rigurosa del SoH, junto con otros parámetros como la vida útil remanente (*Remaining Useful Life*, RUL) y el estado de seguridad (*State of Safety*, SoS) es fundamental para garantizar su fiabilidad en nuevas aplicaciones.

El proceso de diagnóstico de baterías se lleva a cabo en dos etapas. Primero, se realiza una inspección visual para detectar daños externos, fugas de refrigerante u otros defectos evidentes. Si no se encuentran anomalías visibles, se procede con un diagnóstico avanzado, que combina ensayos eléctricos, térmicos y mecánicos, complementadas con el análisis de datos operativos cuando están disponibles. Estos procedimientos son costosos en tiempo y recursos, ya que requieren someter a las baterías a una serie de ciclos de carga y descarga. Se requieren metodologías más ágiles capaces de proporcionar estimaciones precisas del estado de salud y la vida remanente de la batería con pocos ciclos, en base a indicadores de distintos tipos de degradación.

Actualmente, la falta de datos fiables sobre el historial de uso de cada batería obliga a realizar inspecciones minuciosas y ensayos físicos incluso para baterías que luego resultan no ser aptas para reutilización. Sin embargo, en la medida en que se vaya disponiendo de grandes volúmenes de datos históricos de uso de distintos tipos de baterías, será posible la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y *machine learning* para predecir el estado de salud y la vida remanente de forma fiable en base a modelos de datos.

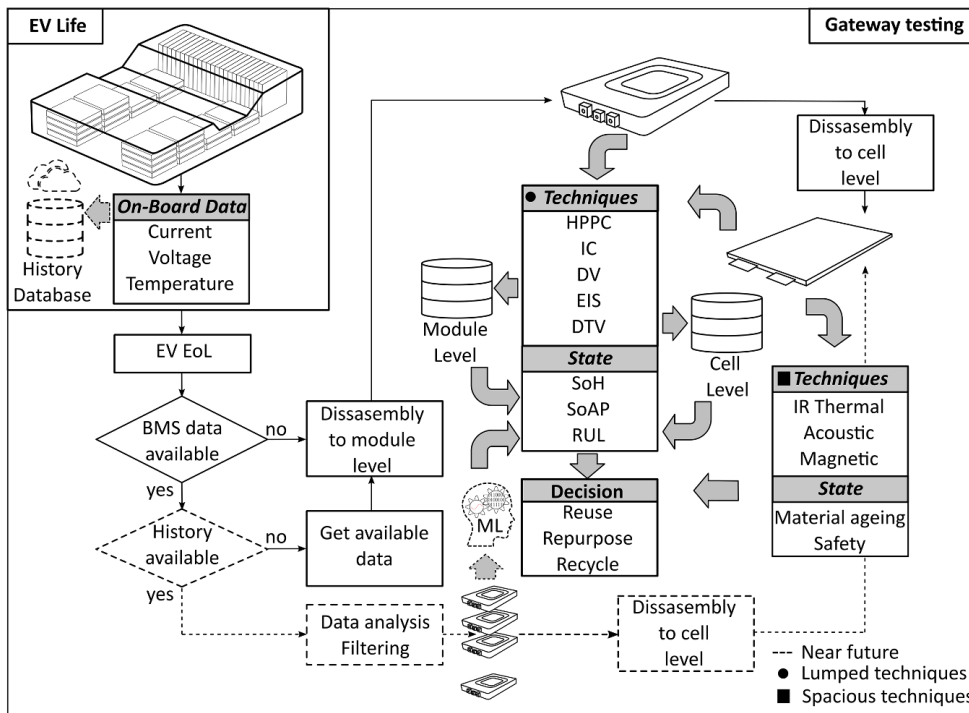


Figura 7: Descripción genérica del diagnóstico y triaje de un pack de baterías.

**Garantía y fiabilidad: clave para la segunda vida**

El éxito de un modelo de negocio basado en baterías de segunda vida depende, por tanto, de definir y estimar con precisión su rendimiento técnico y durabilidad. Mientras que en aplicaciones primarias este rendimiento suele estar ligado a la capacidad (como la autonomía de un vehículo eléctrico), en aplicaciones secundarias puede depender de las prestaciones en potencia, eficiencia de carga/descarga o estabilidad operativa en distintas condiciones.

Superar este desafío mediante protocolos estandarizados de evaluación y certificación permitirá incrementar la confianza del mercado y facilitar contratos comerciales en torno a baterías de segunda vida. Esto representa una oportunidad para empresas especializadas en evaluación, certificación y diagnóstico de baterías, que pueden ofrecer servicios de valor añadido a fabricantes, recicladores e integradores.

**Digitalización del diagnóstico: un pilar estratégico para la economía circular**

La digitalización del diagnóstico de las baterías representa una de las áreas con mayor potencial de crecimiento y disrupción dentro del sector. El aprovechamiento de los datos disponibles en el BMS y el uso de inteligencia artificial y *machine learning* permitirán desarrollar modelos predictivos que optimicen la clasificación de baterías para su segunda vida sin necesidad de pruebas adicionales costosas. Entre las



ventajas que la implementación de herramientas de digitalización del diagnóstico puede ofrecer destacan:

- **Registro y disponibilidad de datos históricos:** Un historial completo de cada batería permitiría evaluar su rendimiento real y mejorar su reaprovechamiento en nuevas aplicaciones.
- **Predicción de la vida útil remanente (RUL):** Métodos avanzados permitirán anticipar con mayor certeza el tiempo de funcionamiento en aplicaciones secundarias, aumentando la fiabilidad del mercado de baterías de segunda vida.
- **Optimización de ciclos de carga/descarga:** Al analizar patrones operativos, se podrán predecir con mayor precisión los ciclos de vida restantes, facilitando decisiones más informadas de operación que permitan optimizar la vida de la batería.

La creación de plataformas digitales que centralicen la gestión de datos y el diagnóstico remoto de baterías abre oportunidades para *startups* y empresas tecnológicas que deseen desarrollar modelos de negocio basados en *software*, analítica de datos y servicios de consultoría especializada. A medio plazo, también se vislumbra la oportunidad de implementar diagnósticos avanzados dentro del propio vehículo, basados en datos recopilados por el BMS.

### 3.2.2 Oportunidades de negocio identificadas

El diagnóstico de baterías es una etapa esencial en múltiples procesos dentro de la cadena de valor circular. Sin embargo, más allá de su papel dentro de la economía circular, el diagnóstico de baterías también representa una oportunidad de negocio en sí mismo. Empresas especializadas pueden ofrecer servicios de evaluación, certificación y predicción de rendimiento y durabilidad a fabricantes, recicladores, operadores de movilidad y gestores de almacenamiento energético que prefieran externalizar estos procesos.

En este contexto, desarrollar servicios de diagnóstico avanzados y soluciones tecnológicas para el análisis de baterías abre un abanico de oportunidades para *startups*, empresas tecnológicas y centros de investigación que busquen posicionarse en un mercado en crecimiento, alineado con la transición hacia una economía más sostenible y eficiente:



OP2: Servicios de diagnóstico de baterías	
1. Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de diagnóstico de baterías con el fin de establecer su estado de salud (SoH) y vida residual o RUL (<i>Remaining Useful Life</i>) como punto de partida para los siguientes pasos en su trayectoria de producto</li> <li>Puede ser un servicio independiente o integrado en una iniciativa de mayor alcance.</li> </ul>
2. Modelo de negocio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iniciativas de emprendizaje individual o <i>startups</i> tecnológicos.</li> <li>Puede operar bajo un modelo de suscripción, pago por servicio o integrarse en plataformas digitales de gestión de baterías.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contratos con entidades (fabricantes, proveedores de energía, empresas de movilidad eléctrica, etc.), que requieren evaluaciones precisas y confiables del estado de sus baterías.</li> <li>Servicios de diagnóstico y evaluación del estado de salud y/o RUL a particulares</li> <li>Certificación de garantía de baterías de 2ª vida.</li> </ul>
3. Mercado objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operadores <i>marketplace</i> de baterías de fin de primera vida que necesitan evaluar la reutilización de baterías</li> <li>Clientes de los operadores <i>marketplace</i> buscando un diagnóstico independiente</li> <li>Empresas de reparación de baterías</li> <li>Empresas de reconfiguración de baterías p.ej. para aplicaciones de segunda vida.</li> <li>Empresas de reciclaje para filtrado y separación de baterías aún aprovechables previo a su reciclado</li> </ul>



OP2: Servicios de diagnóstico de baterías	
4. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento en técnicas y estándares de ensayos de baterías e interpretación de datos para su diagnóstico.</li> <li>• Acceso y conectividad al BMS de las baterías, idealmente a través de acuerdos con OEMs para complementar los ensayos físicos y, a futuro, como alternativa de diagnóstico mediante modelos basados en datos de operación (desarrollo de modelos predictivos).</li> <li>• Experiencia en desarrollo de modelos predictivos de vida útil y diagnóstico basado en inteligencia artificial y <i>machine learning</i>.</li> <li>• Capacidad para generar reportes detallados de diagnóstico que faciliten la toma de decisiones a fabricantes y gestores de baterías.</li> </ul>
5. Principales necesidades de equipamiento o infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamiento de testeo como cicladores, analizadores, etc.</li> <li>• Herramientas <i>software</i> de sistemas de testeo de baterías para facilitar el procesamiento y análisis de los datos.</li> <li>• Entornos de programación para el desarrollo de modelos de <i>software</i> predictivos.</li> <li>• Plataformas de gestión de datos para el almacenamiento seguro y eficiente de la información recolectada.</li> <li>• Centros de pruebas certificadas que garanticen la precisión de los diagnósticos.</li> </ul>
6. Ventajas competitivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración con tecnologías digitales avanzadas: uso de inteligencia artificial y <i>big data</i> para ofrecer diagnósticos de manera más eficiente y más precisos.</li> </ul>



### 3.3 ÁMBITO III: Baterías de fin de vida. Logística y Marketplace

La logística inversa de baterías comienza cuando el sistema deja de cumplir con los requisitos del usuario y finaliza cuando se ha maximizado su valor residual, ya sea a través del reciclaje, la reparación o la reutilización. En muchos casos, el fin de vida útil (*End of Life, EoL*) se define previamente por un número determinado de años o ciclos, por una disminución del Estado de Salud (*State of Health, SoH*) por debajo de un umbral específico, o por la demanda del usuario, que puede notar una reducción del rendimiento (por ejemplo, en la autonomía de un vehículo eléctrico).

El proceso de logística inversa implica varias etapas clave:

1. Extracción de las baterías del sistema correspondiente.
2. Desactivación opcional para mejorar la seguridad y facilitar su manipulación.
3. Almacenamiento de las baterías en función de su estado de seguridad.
4. Transporte de las baterías a una instalación receptora tras acumular un volumen suficiente en la instalación autorizada.

En algunos casos, se pueden añadir etapas intermedias, como la evaluación del estado de las baterías, el desmontaje o la extracción de componentes antes de su llegada a un remanufacturador, reutilizador o reciclador. Esto conlleva la repetición de las fases de almacenamiento, embalaje y distribución.

#### 3.3.1 Reto

Uno de los mayores desafíos en la logística inversa de baterías es el elevado costo del transporte, que puede representar hasta el 50 % del costo total de eliminación. Esto se debe a las estrictas regulaciones de seguridad y a la clasificación de las baterías como residuos peligrosos. En Europa, la implementación de un sistema descentralizado podría ayudar a reducir las distancias de transporte, minimizando costos y riesgos, al tiempo que optimizaría la huella de carbono.

Otro obstáculo clave es la fragmentación del mercado, donde las baterías pasan por múltiples intermediarios, lo que genera asimetría de información sobre su estado, valor y normativa aplicable. Además, la logística sigue siendo compleja y costosa, ya que el transporte de grandes paquetes de baterías requiere medidas de seguridad específicas y un estricto cumplimiento regulatorio.

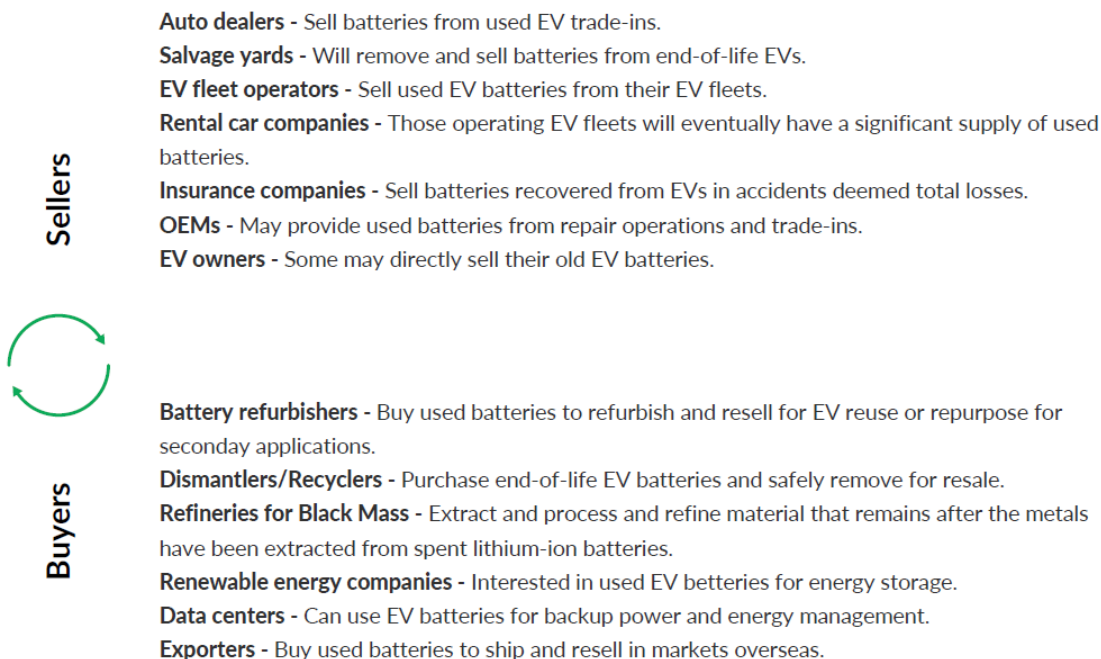
#### Oportunidades: Centralización y digitalización de mercados

Si bien un sistema descentralizado minimizaría las distancias de transporte, la centralización digital de los mercados de baterías usadas podría mejorar la eficiencia de toda la cadena de suministro. Un



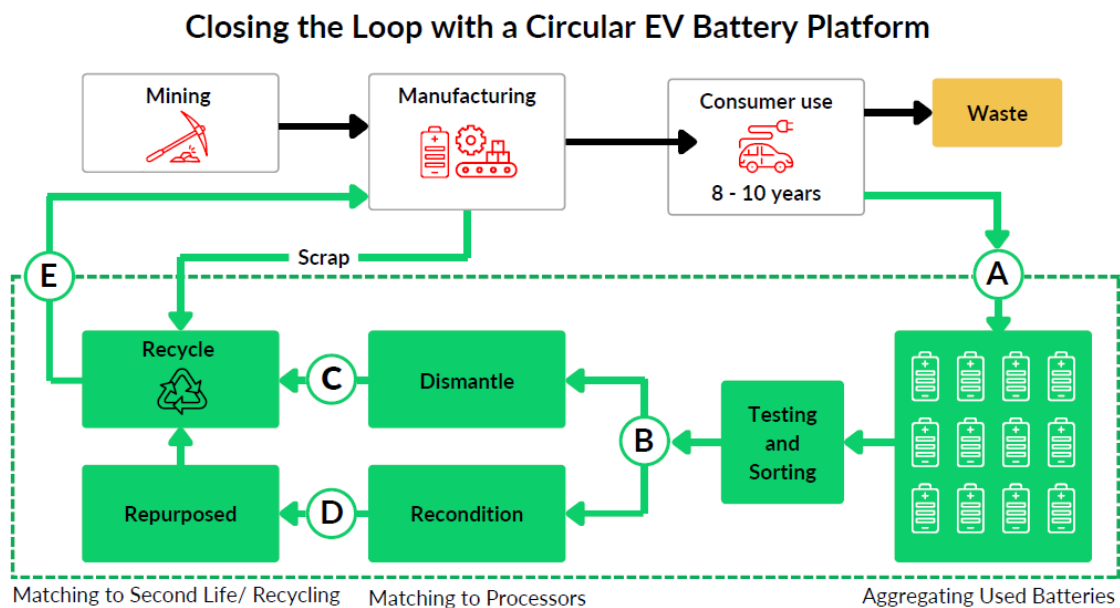
mercado digitalizado permitiría conectar compradores y vendedores de manera transparente, resolviendo la fragmentación actual y mejorando la gestión logística y financiera.

### Circular Connections: Matching Buyers and Sellers



*Figura 8: Plataforma de emparejamiento entre compradores y vendedores de baterías de segunda vida (Fuente: McFadyen Digital)*

Una plataforma en línea para el comercio de baterías de segunda vida podría servir como un *hub* de intercambio digital, facilitando la reasignación de baterías en función de su estado, capacidad de reutilización o viabilidad para el reciclaje. Este modelo optimizaría la fijación de precios, la evaluación de calidad y la logística, permitiendo transacciones más ágiles y sostenibles.



*Figura 9: Plataforma circular de baterías de vehículos eléctricos de segunda vida (Fuente: McFadyen Digital)*

#### El papel de orquestador en un mercado circular

Un aspecto fundamental en el desarrollo de un mercado circular de baterías es determinar quién ejercerá el rol de orquestador de la plataforma. Existen varios perfiles para este rol, cada uno con ventajas y desafíos:

- *Startups*: Aportan innovación y agilidad, con gran capacidad para desarrollar plataformas digitales y herramientas de trazabilidad. Sin embargo, pueden enfrentar dificultades en cuanto a financiación, escalabilidad e integración con actores industriales consolidados.
- *Empresas establecidas (incumbents)*: Las compañías del sector automotriz y energético ya cuentan con infraestructura, redes comerciales y capacidad financiera, lo que les permite escalar rápidamente. No obstante, su mayor tamaño y estructuras organizativas pueden hacerlas menos ágiles en la innovación.
- *Consortios de empresas*: Combinan la infraestructura y experiencia de las grandes compañías con la innovación de *startups* y centros de investigación. No obstante, la toma de decisiones puede ser más lenta debido a la diversidad de intereses involucrados.

## Alternative EV Battery Marketplace Orchestrators

	Startup	Incumbent	Consortium
<b>Funding Source</b>	Venture capital and investor funding	Internal corporate budget/profits	Membership fees and contributions from participating companies
<b>Infrastructure</b>	Would need to build collection networks from scratch	Leverage existing transportation fleet and facilities	Pooling of assets and infrastructure across members
<b>Industry Access</b>	Less connections; needs to establish credibility	Already has supplier relationships	Engaged participation across supply chain
<b>Decision Making</b>	Nimble, flexible to pivot	Slower moving per corporate strategies	Require consensus building
<b>Technology Innovation</b>	Can move fast on new recycling tech R&D	May need to justify projects internally	Funds R&D benefiting multiple stakeholders
<b>Market influence</b>	Little influence on industry initially	Significant influence on markets and policies	Concentrated voice on regulations
<b>Ability to Scale</b>	Limited resources and infrastructure poses scaling challenge	Existing networks support scaling over time	Pooling resources and assets enables scaling

Figura 10: Alternativas de orquestadores en el mercado circular de las baterías (Fuente: McFadyen Digital)

### Soluciones emergentes

Varias iniciativas están abordando los desafíos del mercado de logística inversa a través de modelos innovadores:

- **Startups** en logística inversa: los *startups* están desarrollando plataformas de recuperación y gestión de baterías de segunda vida, conectando compradores y vendedores y asegurando la trazabilidad de los datos de rendimiento mediante tecnologías IoT y *blockchain*. Además, están trabajando en soluciones logísticas para el transporte seguro de baterías peligrosas, reduciendo costos y mejorando la eficiencia operativa.
- **Iniciativas de OEMs**: fabricantes como Renault y Nissan están experimentando con modelos de logística inversa aprovechando su experiencia en el mercado de vehículos eléctricos pioneros. Dado que las primeras generaciones de baterías de modelos como el Nissan Leaf y el Renault Zoe están llegando a su EoL, estos fabricantes pueden probar estrategias de recuperación y reutilización antes que otros competidores.
- **Soluciones de software** para mercados circulares: las plataformas digitales requieren *software* avanzado que optimice la toma de decisiones, la transparencia y la circularidad del mercado de baterías usadas. Algunas herramientas clave incluyen:
  - **Motores de optimización de compra**: Permiten a las empresas tomar decisiones basadas en criterios de calidad, certificación y viabilidad económica.



- Visualización de inventario y predicción de demanda: Facilita la planificación y gestión eficiente del mercado.
- Procesos de economía circular (*Waste-to-Wealth*): Promueven el uso de materiales reciclados con certificación de origen ético.
- Identificación de compradores potenciales: Incluye OEMs, mercados secundarios y socios estratégicos para la disposición de activos.

### 3.3.2 Oportunidades de negocio identificadas

En este contexto, surgen modelos de negocio basados en la especialización logística, el desarrollo de *marketplaces* digitales y la implementación de *software* avanzado para la trazabilidad y optimización del mercado de baterías de segunda vida. Estas soluciones no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también impulsan la transición hacia un modelo más sostenible y rentable, facilitando la reutilización, reacondicionamiento y reciclaje de baterías dentro de la economía circular.

OP3: Servicios logísticos de baterías de fin de vida	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios de recogida, transporte almacenamiento temporal de baterías de fin de vida.</li> <li>• Puede operar bajo contratos de servicio con fabricantes, empresas de reciclaje y gestores de residuos.</li> </ul> <p><b>Características clave:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de recogida y entrega en diversas ubicaciones.</li> <li>• Transporte y almacenamiento seguro de baterías.</li> <li>• Almacenamiento temporal en instalaciones especializadas.</li> <li>• Gestión integral con monitoreo y trazabilidad en tiempo real.</li> <li>• Cumplimiento con normativas internacionales de transporte de materiales peligrosos.</li> </ul>



OP3: Servicios logísticos de baterías de fin de vida	
2. Modelo de negocio	<p>Este servicio se ofrece como una solución logística integral accesible desde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativas de emprendizaje individual.</li> <li>• Empresas especializadas en transporte de materiales peligrosos.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifas por recogida, transporte, almacenamiento y/o entrega.</li> <li>• Servicios adicionales de monitoreo y trazabilidad de baterías en tiempo real.</li> <li>• Consultoría para el cumplimiento normativo y gestión de residuos peligrosos.</li> </ul>
3. Punto de partida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Talleres de reparación de EV, concesionarios oficiales, etc. que necesitan gestionar las baterías retiradas.</li> <li>• Desguaces o cualquier punto de recepción de vehículos siniestrados.</li> <li>• Productos defectuosos o rechazos de producción de fabricantes o integradores de <i>battery packs</i>.</li> <li>• <i>Battery packs</i>, módulos o celdas a retirar o reutilizar post reparación, desensamblado o reacondicionamiento.</li> <li>• Empresas de reciclaje que necesitan separar y almacenar baterías de manera segura antes de su procesamiento final.</li> <li>• Baterías EoL (1ª o 2ª vida) que deben ser gestionadas, sea por demanda del propio usuario o del fabricante que desea o debe recuperarlas.</li> </ul>
4. Mercado objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toda empresa involucrada en la cadena de valor circular de las baterías, como reparadores, diagnosticadores, desensambladores, reconfiguradores, recicladores e incluso <i>marketplaces</i>.</li> <li>• Usuarios finales con baterías a retirar.</li> <li>• Empresas o centros de sectores afines, como talleres o desguaces, que trabajen con vehículos eléctricos.</li> </ul>



OP3: Servicios logísticos de baterías de fin de vida	
5. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento del sector logístico y transporte industrial.</li> <li>• Experiencia en la manipulación, transporte y almacenamiento de materiales peligrosos, conforme a normativas internacionales.</li> <li>• Capacidad para garantizar el cumplimiento de regulaciones de seguridad y medioambientales en el manejo de baterías usadas.</li> <li>• Implementación de sistemas de gestión y monitorio para garantizar la trazabilidad de cada batería transportada y almacenada.</li> </ul>
6. Infraestructura o equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herramientas de sensorización, monitorización y digitalización para control de stocks y parámetros básicos de seguridad.</li> <li>• <i>Software</i> de gestión de logística y trazabilidad en tiempo real para optimizar rutas y minimizar tiempos de espera.</li> <li>• Transportistas homologados para el transporte de mercancías peligrosas (certificado de formación ADR).</li> <li>• Vehículos de transporte con certificaciones de seguridad para materiales peligrosos, incluyendo contenedores especializados (externalizable).</li> <li>• Espacio de almacenamiento con medidas de seguridad y extinción adecuados para baterías (externalizable).</li> </ul>
7. Ventajas competitivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización de costos: permite a fabricantes, talleres y recicladores reducir costos operativos asociados al transporte y almacenamiento de baterías.</li> <li>• Mejor trazabilidad y eficiencia: implementación de sistemas digitales de rastreo para mejorar la gestión de inventarios y reducir pérdidas.</li> <li>• Escalabilidad del servicio: se puede expandir a nivel regional o nacional con una red logística optimizada para cubrir mayores volúmenes de baterías.</li> </ul>



OP4: Servicios de comercialización de baterías de fin de vida ( <i>marketplace</i> )	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Servicios de comercialización de baterías de fin de vida o rechazos de producción de <i>battery packs</i> con pequeñas taras o defectos, conectando compradores con generadores de stock de baterías no nuevas. Este <i>marketplace</i> digital permite gestionar la compraventa de baterías en distintos formatos, desde celdas individuales hasta <i>battery packs</i> completos.</li> <li>Puede incluir servicios (subcontratado o propio) de diagnóstico / control de calidad, así como servicios de desmontaje para extraer módulos de un <i>pack</i>.</li> </ul> <p><b>Características Clave:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Conexión entre compradores y vendedores a través de una plataforma digital, que permite transacciones seguras y eficientes.</li> <li>Servicios de gestión de la documentación requerida en los distintos procesos involucrados.</li> <li>Control detallado de características de producto: estado, capacidad, tecnología, garantía, coste, etc. para llevar un registro y facilitar la comparación y selección.</li> </ul>
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iniciativa de emprendizaje individual.</li> <li>Alianzas con operadores logísticos y empresas de diagnóstico de baterías.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <p>Diversificado, generando ingresos mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comisiones sobre transacciones dentro del <i>marketplace</i>.</li> <li>Servicios opcionales de certificación, diagnóstico, transporte y almacenamiento.</li> <li>Suscripciones <i>premium</i> para clientes con mayor volumen de operaciones.</li> </ul>
<b>3. Punto de partida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baterías retiradas o que han llegado a fin de vida.</li> <li>Rechazos de fabricación.</li> <li>Módulos o celdas desensambladas, o extraídas del sistema de origen.</li> </ul>



OP4: Servicios de comercialización de baterías de fin de vida ( <i>marketplace</i> )	
4. Mercado objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes e integradores de <i>battery packs</i> con rechazos de producción.</li> <li>• Cualquier empresa o centro receptor de baterías de fin de vida, como talleres, desguaces, usuario, empresas de logística e incluso fabricantes.</li> <li>• Empresas de reparación de baterías, que necesitan identificar módulos viables para reacondicionamiento.</li> <li>• Empresas de reacondicionamiento o reconfiguración de baterías que buscan componentes específicos para aplicaciones de segunda vida.</li> <li>• Empresas de reciclaje.</li> </ul>
5. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento general del sector de baterías y su ciclo de vida</li> <li>• Conocimiento general sobre diseño, ingeniería y comportamiento de baterías</li> <li>• Conocimiento sobre clasificación de baterías según su estado y opcionalmente capacidades de diagnóstico e interpretación de resultados.</li> <li>• Conocimiento sobre la regulación que afecta a las baterías, al transporte de mercancías peligrosas y a su almacenamiento, incluida la documentación necesaria.</li> <li>• Habilidad para gestionar una plataforma digital de comercio, incluyendo logística y trazabilidad.</li> </ul>
6. Infraestructura o equipamiento necesarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacios de almacenamiento seguros para baterías, ya sea propios o mediante alianzas con operadores logísticos.</li> <li>• Herramientas digitales para la gestión de stocks, catálogos de productos, gestión de pedidos y clientes.</li> <li>• Plataforma de comercio electrónico con integración de opciones de pago, verificación de vendedores y trazabilidad de envíos.</li> </ul>



OP4: Servicios de comercialización de baterías de fin de vida ( <i>marketplace</i> )	
<b>7. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización del mercado de baterías usadas: facilita la comercialización y reutilización de baterías, maximizando su valor antes del reciclaje.</li> <li>• Mayor trazabilidad y seguridad: garantiza que las baterías sean manejadas conforme a estándares de seguridad y calidad.</li> <li>• Eficiencia en la comercialización: conexión directa entre compradores y vendedores, reduciendo intermediarios y mejorando la competitividad de precios.</li> <li>• Flexibilidad en la integración de servicios: posibilidad de agregar diagnósticos, logística y certificaciones para diferenciarse de plataformas tradicionales.</li> </ul>

OP5: <i>Software</i> para la gestión de baterías de fin de vida ( <i>marketplace</i> )	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de un <i>software</i> o plataforma digital para gestión eficiente del mercado de baterías de fin de vida, con la posibilidad de incluir servicios de gestión.</li> <li>• Características clave de la herramienta digital:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Compras guiadas: permite a los compradores filtrar opciones en base a criterios como calidad, certificación, sostenibilidad y aplicabilidad.</li> <li>○ Base de datos de inventario: gestión en tiempo real de productos y proveedores para optimizar la oferta y demanda.</li> <li>○ Herramienta de venta integrada: posibilita la publicación de anuncios, gestión de pedidos y automatización de transacciones.</li> <li>○ Opciones de certificación y trazabilidad: permite a los clientes verificar el estado y origen de las baterías.</li> <li>○ Integración con servicios logísticos: conexión con operadores de transporte para agilizar la entrega.</li> </ul> </li> </ul>



OP5: <i>Software</i> para la gestión de baterías de fin de vida ( <i>marketplace</i> )	
<b>2. Modelo de negocio</b>	<p>Este servicio puede ser accesible desde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativas de emprendimiento individual, con un enfoque innovador en el desarrollo de plataformas digitales.</li> <li>• Empresas de <i>software</i> establecidas, que buscan diversificar su oferta e incursionar en el sector de economía circular.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta o licencia de la plataforma de <i>software</i>.</li> <li>• Servicios de mantenimiento y actualización de <i>software</i>.</li> </ul>
<b>3. Mercado objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Marketplace</i> de baterías retiradas o de fin de vida.</li> <li>• Se debe tener en cuenta también quién va a ser el usuario final del <i>software</i> de <i>marketplace</i>, como empresas de reparación, reconfiguración o reciclado.</li> </ul>
<b>4. Capacidades requeridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento general del sector de baterías, su ciclo de vida y aplicaciones.</li> <li>• Experiencia en programación y desarrollo de <i>software</i>, con especialización en plataformas digitales y <i>marketplaces</i>.</li> <li>• Conocimiento sobre logística y transporte de baterías, cumpliendo con regulaciones para mercancías peligrosas.</li> <li>• Habilidad en análisis de datos y gestión de información para optimizar la toma de decisiones.</li> </ul>
<b>5. Infraestructuras o equipamientos necesarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plataforma digital robusta, con funcionalidades de <i>e-commerce</i> y gestión de usuarios.</li> <li>• Servicios de <i>cloud computing</i>, para garantizar la escalabilidad y almacenamiento seguro de datos.</li> <li>• Integración con herramientas de análisis de datos e inteligencia artificial, para mejorar la predicción de demanda y optimización de inventarios.</li> <li>• Protocolos de ciberseguridad, asegurando la protección de la información y transacciones.</li> </ul>



OP5: <i>Software para la gestión de baterías de fin de vida (marketplace)</i>	
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización del mercado de baterías usadas: digitalización del proceso de compraventa y trazabilidad de baterías.</li> <li>• Mayor eficiencia en la comercialización: reducción de tiempos de búsqueda y validación de proveedores.</li> <li>• Automatización y reducción de costos: minimización de intermediarios y simplificación del proceso de compra.</li> <li>• Escalabilidad: posibilidad de expansión a nivel global con adaptación a regulaciones locales.</li> </ul>

### 3.4 ÁMBITO IV: Desensamblaje y desmantelado

Antes de que una batería pueda ser reacondicionada, reutilizada o reciclada, es necesario llevar a cabo una serie de actividades de acondicionamiento. Si no se ha realizado previamente en el punto de extracción, la batería debe ser descargada para garantizar su seguridad como paso previo a las siguientes etapas.

#### Desmontaje: un proceso clave para la reutilización y el reciclaje

El nivel de desmontaje depende de la aplicación futura de la batería. En el caso de la reutilización y el reacondicionamiento, los paquetes de baterías deben ser desmontados para reemplazar módulos o celdas defectuosas, adaptar la electrónica y permitir su reconfiguración para una segunda vida. En el reciclaje, las baterías deben ser desmontadas -generalmente hasta el módulo- para separar los distintos materiales y componentes, que requieren procesos específicos de tratamiento.

Por lo tanto, el proceso de desmontaje debe abordarse en diferentes niveles: paquete, módulo o celda. Sin embargo, sigue existiendo una necesidad de equilibrar viabilidad económica, accesibilidad y seguridad. En muchos casos, desmontar las celdas individuales para su clasificación es un proceso costoso y laborioso que, dependiendo del diseño del módulo, puede llegar a ser inviable por razones técnicas o económicas.

#### 3.4.1 Retos

Uno de los principales desafíos en el desmontaje de packs de baterías es el uso de uniones no reversibles como soldaduras o adhesivos, que pueden generar riesgos de explosión o accidentes durante su manipulación, tal y como se mencionó en el capítulo sobre ecodiseño. La falta de estandarización es



también un obstáculo para la automatización del proceso, ya que el uso de clips, adhesivos y cableado variable dificulta la implementación de protocolos de desmontaje robótico. Uno de los factores que más influye en los elevados costos de reciclaje o reutilización es la cantidad de procesos manuales necesarios para desmontar las baterías de primera generación y acceder al material de las celdas. La viabilidad económica de estos procesos se ve comprometida cuando dependen de mano de obra especializada, ya que requieren técnicos capacitados en alta tensión.

La automatización del desmontaje de baterías ofrece una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia y reducir costos. Un sistema de desmontaje semiautomatizado o totalmente automatizado permitiría procesar grandes volúmenes de baterías a menor costo y con mayor seguridad. A medida que más baterías lleguen al final de su vida útil, será imprescindible desarrollar tecnologías que permitan un procesamiento más eficiente y seguro.

Aunque los robots ya desempeñan un papel clave en la fabricación de vehículos eléctricos, su aplicación en el desmontaje de baterías presenta desafíos adicionales. En la producción, los robots operan en entornos controlados con movimientos repetitivos y alta precisión. Sin embargo, en el desmontaje, la presencia de deformaciones provocadas por colisiones, sobrecargas o envejecimiento añade incertidumbre, lo que dificulta la automatización completa del proceso.

Para abordar este reto, es necesario combinar sistemas de inteligencia artificial con técnicas de visión artificial y sensores avanzados. Estas tecnologías permitirían a los robots adaptarse a diferentes condiciones de baterías usadas, aumentando la seguridad y la eficiencia del proceso.

En la transición hacia la automatización, es probable que se adopten modelos de desmontaje progresivos. En este escenario, las tareas repetitivas y seguras serán ejecutadas por sistemas completamente autónomos, mientras que aquellas que requieren mayor flexibilidad serán gestionadas mediante colaboración entre humanos y robots. A largo plazo, la tendencia apunta a que las tareas manuales sean progresivamente reemplazadas por sistemas semiautónomos, y que estos, a su vez, evolucionen hacia procesos totalmente automatizados.

### 3.4.2 Oportunidades de negocio identificadas

Como se ha argumentado, el desensamblaje de baterías es una etapa fundamental en la economía circular, como primer paso de cara a recuperar módulos y materiales valiosos para su reutilización o reciclaje. Sin embargo, la complejidad del proceso, la variabilidad en los diseños de los paquetes y la necesidad de garantizar seguridad y eficiencia abren nuevas oportunidades de negocio.

La automatización del desmontaje y la prestación de servicios especializados en esta área pueden reducir costos operativos, mejorar la seguridad y optimizar el tiempo de procesamiento. En este contexto, el



desarrollo de equipos y tecnologías para el desensamblaje automatizado, junto con la oferta de servicios especializados en el desmontaje de baterías, representan oportunidades estratégicas para empresas innovadoras y actores industriales que busquen posicionarse en este mercado en expansión:

OP6: Fabricación de equipos y procesos para el desensamblaje automatizado de baterías	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamiento, maquinaria y líneas de proceso para el desensamblaje total o parcial de <i>battery packs</i>, incluyendo etapas como descarga o desactivación inicial, apertura del <i>battery box</i>, extracción de módulos, opcionalmente apertura de módulos y extracción de celdas, separación y clasificación de componentes electrónicos, estructurales e inertes.</li> <li>• Puede ser un servicio independiente o integrado en una iniciativa de mayor alcance.</li> </ul>
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresas ya existentes especializadas en diseño y fabricación de líneas de ensamble y producción de bienes y equipos.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de maquinaria y líneas de producción automatizadas.</li> <li>• Mantenimiento y soporte técnico.</li> <li>• Desarrollo de <i>software</i> de control y monitoreo de procesos de desensamblaje.</li> <li>• Servicios de consultoría y personalización de equipos según las necesidades del cliente.</li> </ul>
<b>3. Punto de partida</b>	<p>El servicio está dirigido a empresas y sectores que necesitan soluciones avanzadas para el tratamiento de baterías en su fin de vida útil:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes de baterías y vehículos eléctricos que buscan optimizar la gestión de productos defectuosos o retirados del mercado.</li> <li>• Empresas de reciclaje que requieren automatización en la separación y procesamiento de componentes.</li> <li>• Empresas de reconfiguración de baterías interesadas en extraer módulos y celdas reutilizables de manera eficiente.</li> </ul>



OP6: Fabricación de equipos y procesos para el desensamblaje automatizado de baterías	
4. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento profundo de diseño estructural y E/E (eléctrico/electrónico) de baterías</li> <li>• Experiencia en robótica industrial, visión artificial e inteligencia artificial, aplicadas a la automatización de procesos de desensamblaje.</li> <li>• Habilidades en diseño y desarrollo de soluciones de automatización y ensamblaje/desensamblaje.</li> <li>• Capacidad para integrar sistemas de control, sensores y <i>software</i> de monitoreo en las líneas de desensamblaje.</li> </ul>
5. Infraestructura o equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas industriales o talleres de montaje para la fabricación e instalación de líneas de automatización.</li> <li>• Entornos de desarrollo de software de control.</li> </ul>
6. Ventajas competitivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatización del proceso de desensamblaje: reduce costos operativos y mejora la seguridad en el manejo de baterías.</li> <li>• Escalabilidad y adaptabilidad: posibilidad de personalización según las necesidades del cliente y del mercado.</li> <li>• Cumplimiento de normativas internacionales: facilita la alineación con regulaciones medioambientales y de seguridad industrial.</li> </ul>

OP7: Servicios de desensamblaje de baterías	
1. Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa de servicios focalizada en la recepción y desensamblaje de baterías para reparar, reconfigurar o reciclar por parte de otras entidades.</li> </ul> <p><b>Características Clave:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción y evaluación de baterías provenientes de diversas fuentes.</li> <li>• Desensamblaje seguro y eficiente, asegurando la correcta separación de módulos, celdas y otros componentes.</li> <li>• Preparación de módulos y celdas para su reutilización o reciclaje.</li> <li>• Gestión de residuos y cumplimiento normativo, asegurando la sostenibilidad del proceso.</li> </ul>



OP7: Servicios de desensamblaje de baterías	
2. Modelo de negocio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresas con experiencia en ensamblaje y producción de bienes y equipos para terceros (<i>contract manufacturing</i>).</li> <li>• Este servicio puede operar de forma independiente o en colaboración con empresas que necesiten externalizar sus procesos de desmontaje.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifas por el servicio de desensamblaje.</li> <li>• Venta de componentes reutilizables a empresas de reacondicionamiento.</li> <li>• Servicios adicionales de diagnóstico y certificación del estado de los módulos.</li> </ul>
3. Punto de partida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operadores <i>marketplace</i> de baterías de fin de primera vida.</li> <li>• Empresas de reparación de baterías.</li> <li>• Empresas de reconfiguración de baterías para aplicaciones de segunda vida.</li> <li>• Empresas de reciclaje de baterías.</li> </ul>
4. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento profundo del diseño estructural y eléctrico/electrónico (E/E) de baterías.</li> <li>• Experiencia en manejo de sistemas robóticos y de visión artificial.</li> <li>• Manejo adecuado de normativas ambientales y de seguridad en la manipulación de baterías usadas.</li> </ul>
5. Infraestructura o equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones tipo planta industrial, con áreas seguras para el desensamblaje y almacenamiento temporal de baterías.</li> <li>• Equipos automatizados para desmontaje y separación de componentes.</li> <li>• Sistemas de monitoreo y seguridad, incluyendo equipos de detección de riesgos térmicos y eléctricos.</li> <li>• <i>Software</i> de trazabilidad y control de inventario, para gestionar la reutilización y reciclaje de componentes.</li> </ul>



OP7: Servicios de desensamblaje de baterías	
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimización del proceso de desensamblaje: reducción de tiempos y costos operativos mediante automatización.</li> <li>• Adaptabilidad a diferentes tipos de baterías: capacidad para procesar baterías de diversas marcas y modelos.</li> <li>• Escalabilidad del servicio: posibilidad de expansión a nivel regional o nacional para cubrir una mayor demanda.</li> </ul>

### 3.5 ÁMBITO V: Reparación de baterías

La reparación y reutilización de baterías usadas de vehículos eléctricos no solo es una opción económicamente atractiva, sino también una herramienta clave dentro de la economía circular. Los fabricantes de equipo original (OEM) ofrecen garantías promedio de cinco a ocho años o entre 160.000 y 200.000 kilómetros para las baterías de tracción, asegurando que su estado de salud se mantenga por encima del 70-80 % durante ese período.

Si una batería presenta fallos dentro del periodo de garantía, el fabricante está obligado a repararla o reemplazarla. Sin embargo, el reemplazo completo es costoso, ya que la batería puede representar hasta el 50 % del valor total del vehículo. Por otro lado, el costo de transporte y reparación de una batería defectuosa es entre un 30 % y un 50 % menor que el de una batería nueva, lo que supone un ahorro considerable tanto para los fabricantes como para los usuarios.

En este contexto, la reparación de baterías no solo permite reducir costos, sino que también minimiza el impacto ambiental asociado a la producción de nuevas unidades. A medida que la flota de vehículos eléctricos crece y un mayor número de baterías alcanza su límite de uso en la aplicación original, la reparación se posiciona como una solución rentable y sostenible para prolongar su vida útil y optimizar los recursos disponibles.

#### 3.5.1 Reto

El proceso de reparación de baterías implica la identificación y sustitución de componentes defectuosos, asegurando que el sistema recupere su funcionalidad y pueda continuar en operación con altos niveles de seguridad y eficiencia. La capacidad de reutilizar módulos o celdas reparadas en nuevos paquetes de baterías para aplicaciones de segunda vida también amplía las oportunidades en este sector.

## Reemplazo de componentes defectuosos

Todos los componentes de una batería pueden repararse si son accesibles. Sin embargo, la viabilidad de estas reparaciones depende del diseño modular del paquete de baterías, un aspecto que la UE ha incentivado entre los fabricantes para mejorar la sostenibilidad y la reutilización de los sistemas de almacenamiento de energía.

El reemplazo de componentes puede darse en distintos niveles:

- **A nivel de módulo:** si un módulo presenta fallos, se sustituye completamente sin necesidad de intervenir a nivel de celda, lo que reduce los costos de mano de obra y tiempo.
- **A nivel de celda:** aunque es técnicamente posible reemplazar celdas individuales, el proceso es más complejo y costoso, por lo que en muchas ocasiones se opta por sustituir el módulo completo.
- **Reemplazo de sistemas electrónicos:** componentes como el sistema de gestión de baterías (BMS), sensores de corriente o fusibles pueden ser reemplazados para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Todo el proceso de reparación se documenta para garantizar la trazabilidad de las baterías, desde la recepción hasta la inspección final y el reenvío, cumpliendo con las condiciones de garantía de los OEM.

## Industrialización del proceso de reparación

Para que la reparación de baterías sea económicamente viable a gran escala, es necesario que se desarrolle una infraestructura adecuada que permita optimizar costos y tiempos de intervención. Actualmente, la mayoría de los trabajos de reparación se realizan en talleres especializados o directamente por los fabricantes dentro del marco de garantías, pero se prevé que en el futuro vaya consolidándose la figura de centros de reparación independientes, que operen de manera similar a los talleres de mecánica tradicional.

El desarrollo de una red de centros de reparación especializados permitiría:

- Reducir tiempos de espera y costos logísticos al descentralizar los puntos de reparación.
- Estandarizar procesos de diagnóstico y reparación mediante el uso de herramientas digitales y automatización parcial.
- Implementar modelos de negocio basados en la reparación y reacondicionamiento de baterías para su reutilización en vehículos eléctricos o en aplicaciones de almacenamiento estacionario.



### Desafíos técnicos y de seguridad

- Accesibilidad y diseño de las baterías: la falta de estandarización en los paquetes de baterías y el uso de adhesivos o soldaduras dificulta la intervención y reemplazo de módulos, lo que encarece el proceso.
- Falta de información técnica: muchos fabricantes no proporcionan esquemas detallados ni procedimientos de reparación, lo que limita la intervención por parte de terceros -esta situación evolucionará favorablemente en los próximos años gracias a la implementación del *Battery Passport* que incluirá una descripción básica de la batería-.
- Seguridad en la manipulación: la reparación de baterías de alta tensión requiere personal especializado y protocolos estrictos para evitar riesgos eléctricos, incendios o fugas térmicas.

A pesar de estos desafíos, la digitalización y la automatización parcial del diagnóstico y la reparación están ayudando a reducir costos y mejorar la eficiencia del proceso.

### 3.5.2 Oportunidades de negocio identificadas

La necesidad de extender la vida útil de las baterías y reducir los costos de sustitución genera oportunidades tanto para modelos de negocio integrados como para servicios especializados en reparación. En algunos casos, la reparación de baterías puede formar parte de una operación más amplia, en la que un gestor de baterías usadas se encargue de recibirlas, diagnosticarlas y clasificarlas según su viabilidad: algunas podrán ser reparadas y devueltas al mercado, otras se reconfigurarán para productos de segunda vida, y aquellas que no tengan remedio serán enviadas al proceso de reciclaje.

Al mismo tiempo, la reparación de baterías también representa una oportunidad de negocio independiente, ofreciendo servicios especializados a fabricantes, gestores de flotas, talleres y otros actores del sector que necesiten prolongar la vida útil de sus sistemas sin asumir el proceso directamente. Con la electromovilidad y el almacenamiento de energía en plena expansión, las empresas que desarrollen modelos eficientes en este ámbito podrán posicionarse estratégicamente dentro de la cadena de valor de la economía circular, contribuyendo a la sostenibilidad y competitividad del mercado:



OP8: Servicios de reparación de baterías	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa de servicios focalizada en la reparación de baterías de cara a su reutilización en la misma aplicación original o una similar</li> <li>• Dos enfoques posibles:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sector de la movilidad / vehículo eléctrico: reparación de baterías en talleres especializados.</li> <li>2. Instalaciones estacionarias tipo BESS (<i>Battery Energy Storage Systems</i>): mantenimiento y reparación de sistemas de almacenamiento de energía.</li> </ol> </li> </ul>
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresas o emprendedores con experiencia en talleres mecánicos, eléctricos o en electrónica.</li> <li>• Empresas especializadas en almacenamiento energético y movilidad eléctrica.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifas por reparación y reacondicionamiento de baterías.</li> <li>• Venta de módulos reacondicionados a empresas de reconfiguración.</li> <li>• Contratos de mantenimiento preventivo y correctivo para sistemas BESS.</li> </ul>
<b>3. Punto de partida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concesionarios y talleres mecánicos generalistas, que buscan ofrecer un servicio adicional a sus clientes.</li> <li>• Empresas de seguros, interesadas en reacondicionar baterías dañadas.</li> <li>• Instaladores de sistemas de almacenamiento BESS, que requieren mantenimiento y reparación de baterías a diferentes escalas.</li> <li>• Integradores e instaladores de soluciones eléctricas.</li> <li>• Operadores de <i>marketplace</i> de baterías, que necesitan reacondicionar productos para su venta.</li> </ul>



OP8: Servicios de reparación de baterías	
<b>4. Capacidades requeridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimiento profundo del diseño estructural y eléctrico/electrónico (E/E) de baterías.</li> <li>• Experiencia en talleres mecánicos y eléctricos, con conocimientos en reparación de componentes.</li> <li>• Habilidades en instalaciones eléctricas y diagnóstico de fallos.</li> <li>• Capacidad para extraer y diagnosticar componentes reutilizables (módulos y celdas).</li> <li>• Acceso a baterías de fin de vida como fuente de componentes reutilizables.</li> </ul>
<b>5. Infraestructura o equipamiento necesario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones tipo taller electromecánico, equipadas con estaciones de trabajo para reparación y diagnóstico de baterías.</li> <li>• Equipos de diagnóstico y testeo, incluyendo analizadores de baterías y herramientas de extracción de módulos.</li> <li>• Sistemas de seguridad y protección, para el manejo seguro de baterías de alto voltaje.</li> <li>• <i>Software</i> de monitoreo y trazabilidad, para gestionar el historial y estado de cada batería reparada.</li> </ul>
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de costos para clientes: prolonga la vida útil de las baterías, reduciendo la necesidad de reemplazos costosos.</li> <li>• Acceso a nuevos mercados: servicio demandado tanto en movilidad eléctrica como en almacenamiento estacionario.</li> <li>• Adaptabilidad del servicio: posibilidad de trabajar con distintos tipos de baterías y aplicaciones.</li> <li>• Cumplimiento normativo: asegura que las baterías reacondicionadas cumplen con estándares de seguridad y rendimiento.</li> </ul>

### 3.6 ÁMBITO VI: Reconfiguración (*repurposing*) y segundos usos

La reconfiguración o reutilización en otras aplicaciones (*repurposing* o segunda vida) implica modificar una batería usada para darle un nuevo propósito diferente al que fue originalmente diseñada. A medida que una batería de vehículo eléctrico pierde capacidad y aumenta su resistencia interna, deja de cumplir con los exigentes requisitos de autonomía y potencia de los vehículos eléctricos. Sin embargo, su aprovechamiento en aplicaciones menos exigentes sigue siendo viable.

En este contexto, el almacenamiento estacionario se presenta como una de las aplicaciones ideales para las baterías de segunda vida. Estas pueden utilizarse en sistemas de respaldo energético, microrredes o instalaciones de autoconsumo, maximizando su valor antes de llegar a la fase de reciclaje.

## Battery repurposing is mainly dependent on technical suitability, remaining SoH and repurposing cost/cost per cycle

Overview of repurposing use cases depending on SoH

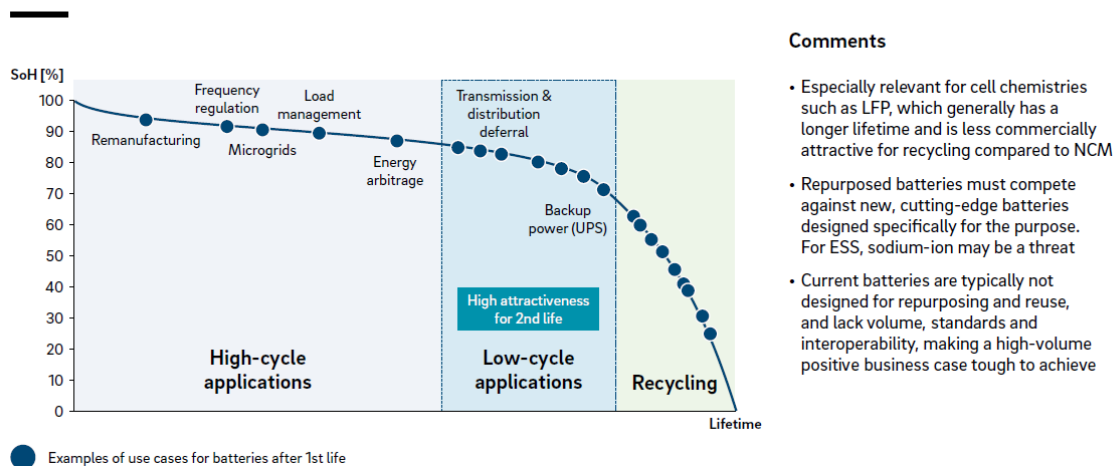


Figura 11: Clasificación para segunda vida (reconfiguración) basado en el SoH de la batería

(Fuente: Roland Berger)

Una estrategia inicial para la reutilización de baterías consiste en aprovechar *battery packs* completos provenientes de vehículos, sin requerir modificaciones significativas. Este enfoque resulta particularmente viable en aplicaciones estacionarias de gran capacidad, donde las economías de escala optimizan la relación costo-beneficio, compensando eventuales ineficiencias y minimizando la necesidad de costosos procesos de reingeniería. En el mercado, diversas iniciativas han demostrado la viabilidad de integrar grandes volúmenes de baterías de segunda vida sin recurrir a procedimientos de desensamblaje complejos, facilitando así su implementación y escalabilidad en proyectos de almacenamiento energético.



Otra alternativa es la reconfiguración de baterías en nuevos paquetes a partir de módulos o celdas extraídas, adaptándolos a distintas necesidades energéticas. Este modelo es particularmente útil para aplicaciones domésticas o comerciales de menor escala, donde el uso de paquetes más pequeños optimiza la eficiencia del sistema. Sin embargo, este enfoque enfrenta desafíos técnicos y regulatorios, ya que la desvinculación del fabricante original y la ausencia de normativas específicas han generado preocupaciones en términos de seguridad y fiabilidad.

En definitiva, la reutilización en aplicaciones secundarias ofrece una gran oportunidad para extender la vida útil de las baterías y maximizar su valor, pero todavía enfrenta retos técnicos y económicos que deben resolverse para su escalabilidad comercial.

### 3.6.1 Retos

Existen varios desafíos que deben abordarse para que el uso secundario de baterías retiradas se convierta en una opción económicamente viable. Estos retos están vinculados a la adaptación tecnológica, la disponibilidad de baterías, los costos de reacondicionamiento y la falta de regulaciones claras:

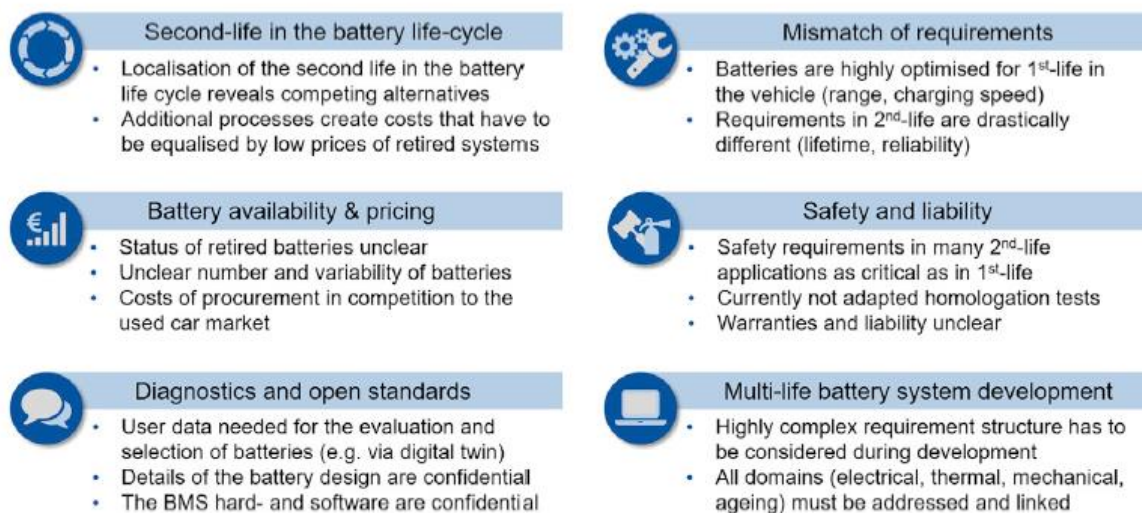


Figura 12: Principales retos ante el uso de baterías de segunda vida.

### Requisitos de las aplicaciones de segunda vida

Las baterías reutilizadas en sistemas de segunda vida suelen requerir modificaciones en su estructura interna. Para garantizar su funcionamiento óptimo, es necesario desmontarlas, diagnosticar su estado y clasificarlas antes de ser reconfiguradas en un nuevo sistema. Dado que las configuraciones de celdas y módulos varían entre fabricantes, la nueva arquitectura del paquete requiere un sistema de gestión de baterías (BMS) adaptado, que permita una correcta supervisión del rendimiento, la seguridad y la



carga/descarga del sistema. Esto implica ajustes en el *software* de control y en los parámetros operativos para optimizar su integración en la nueva aplicación.

Por otra parte, las aplicaciones estacionarias de almacenamiento energético, como sistemas de respaldo, microrredes o integración con energías renovables tienen requerimientos específicos de capacidad, eficiencia y ciclo de vida. Para que las baterías retiradas sean viables en estos nuevos entornos, deben cumplir con ciertas condiciones.

- **Capacidad y eficiencia:** muchas aplicaciones estacionarias requieren altas capacidades de almacenamiento durante largos periodos, lo que puede ser un desafío en función de las características de las baterías disponibles para *repurposing*.
- **Fiabilidad y seguridad:** en aplicaciones críticas como sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) o almacenamiento para redes eléctricas, se exige un alto umbral de confiabilidad. Por ello, los procesos de clasificación deben ser extremadamente precisos para evitar fallos.
- **Oportunidades en mercados energéticos:** la variabilidad de los precios de la energía y la expansión de fuentes renovables intermitentes están generando nuevas oportunidades. Los sistemas de segunda vida pueden aprovechar estas fluctuaciones para operar de manera rentable, especialmente en aplicaciones de arbitraje energético.

El reacondicionamiento y reconstrucción de baterías retiradas puede implicar costos elevados, especialmente si se requiere una reconfiguración a nivel de módulo o celda. El proceso sigue siendo intensivo en mano de obra, lo que afecta la rentabilidad. Además, la falta de estandarización en el diseño de baterías complica la automatización del reacondicionamiento, dificultando la reducción de costos. Sin embargo, la tendencia hacia diseños más modulares y desmontables en línea con los principios del ecodiseño facilitará una reconfiguración más eficiente en el futuro.

Finalmente, a medida que las baterías envejecen, aumentan los riesgos de fallos como sobrecalentamiento o cortocircuitos. Para garantizar la seguridad en aplicaciones de segunda vida, es esencial que cumplan con estrictas normativas y certificaciones. Para que la reutilización de baterías sea viable, es necesario superar desafíos técnicos, regulatorios y económicos mediante herramientas de diagnóstico más avanzadas, procesos estandarizados y mejoras en la automatización del reacondicionamiento.

### 3.6.2 Oportunidades de negocio en la reconfiguración de baterías

La reconfiguración de baterías para aplicaciones de segunda vida puede formar parte de un modelo de negocio más amplio, en el que un gestor de baterías usadas realice la evaluación, clasificación y adaptación de cada unidad para determinar su destino: algunas se reconfiguran en nuevos paquetes, otras se destinan a almacenamiento estacionario y aquellas que no son viables se envían a reciclaje.



Al mismo tiempo, la reconfiguración de baterías puede representar una oportunidad de negocio autónoma, con empresas especializadas en el diseño, ensamblaje y comercialización de sistemas de almacenamiento basados en baterías reutilizadas. A medida que la demanda de almacenamiento energético crece, los actores que desarrollen modelos eficientes en este sector podrán consolidarse en la cadena de valor de la economía circular, ofreciendo soluciones innovadoras y sostenibles:

OP9: Servicios de diseño y reconfiguración de baterías para aplicaciones de segunda vida.	
1. Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios de diseño y construcción de sistemas de almacenamiento en baterías (BESS, Battery Energy Storage Systems) a base de baterías de segunda vida.</li> </ul> <p><b>Características Clave:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de celdas, módulos o <i>battery packs</i> completos para la construcción de nuevos sistemas.</li> <li>• Aplicaciones a distintas escalas:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pequeña escala: Sistemas residenciales y comerciales.</li> <li>○ Escala media: UPS, microrredes, comunidades energéticas.</li> <li>○ Gran escala: Almacenamiento de energías renovables.</li> </ul> </li> <li>• Puede operar como un servicio independiente o integrarse en una estrategia más amplia de reutilización de baterías</li> </ul>
2. Modelo de negocio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emprendedores individuales con conocimientos en energía y baterías.</li> <li>• Empresas del sector eléctrico o de almacenamiento energético que buscan diversificar su oferta.</li> <li>• Fabricantes de automoción con excedentes, rechazos o reemplazos de <i>battery packs</i> en busca de soluciones de reutilización <i>in house</i>.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño y fabricación de sistemas de almacenamiento personalizados.</li> <li>• Venta de módulos o <i>battery packs</i> reconfigurados.</li> <li>• Servicios de consultoría y optimización energética para sistemas de segunda vida.</li> <li>• Contratos de mantenimiento y soporte técnico.</li> </ul>



OP9: Servicios de diseño y reconfiguración de baterías para aplicaciones de segunda vida.	
3. Punto de partida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operadores tipo <i>marketplace</i> proveedores de baterías (celdas, módulos o packs) de segunda vida previamente diagnosticadas.</li> <li>• Acuerdos con OEM, talleres especializados, u otras fuentes de baterías de segunda vida, o de defectivos de cadena de ensamblaje de battery packs (<i>Off-Spec Packs</i> o <i>Non-OEM Compliant Packs</i>)</li> <li>• Gestores de vehículos siniestrados y de fin de vida -con la dificultad de la variabilidad de producto, tanto en tipo/marca/proveedor, como en el propio estado de las baterías-.</li> </ul>
4. Mercado objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operadores de <i>marketplace</i> de baterías, que proveen celdas, módulos o packs previamente diagnosticados.</li> <li>• OEMs, talleres especializados y otras fuentes de baterías de segunda vida.</li> <li>• Gestores de vehículos siniestrados y de fin de vida.</li> <li>• Integradores e instaladores de soluciones eléctricas globales, que buscan almacenamiento energético accesible y eficiente.</li> <li>• Usuarios finales de BESS, interesados en soluciones energéticas sostenibles y de menor costo.</li> </ul>
5. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en diseño y construcción de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías de segunda vida.</li> <li>• Conocimientos en electricidad, electrónica y programación de sistemas BESS.</li> <li>• Capacidad de selección y diagnóstico de baterías usadas para evaluar su viabilidad en nuevas aplicaciones.</li> <li>• Habilidades en integración de baterías con inversores, controladores de carga y otros sistemas eléctricos.</li> <li>• Conocimiento en normativas de seguridad y transporte de baterías usadas.</li> </ul>



OP9: Servicios de diseño y reconfiguración de baterías para aplicaciones de segunda vida.	
<p><b>6. Infraestructura o equipamiento necesarios</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones tipo taller eléctrico/industrial, con espacios seguros para manipulación de baterías.</li> <li>• Equipos de testeo y diagnóstico de celdas, módulos y <i>battery packs</i>.</li> <li>• <i>Software</i> de gestión y trazabilidad, para optimizar el control de inventario y estado de las baterías.</li> <li>• Infraestructura para ensamblaje y reconfiguración, incluyendo herramientas de integración con sistemas de almacenamiento.</li> </ul>
<p><b>7. Ventajas competitivas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de costos para clientes: aprovechamiento de baterías en su segunda vida en lugar de adquirir nuevas.</li> <li>• Flexibilidad de aplicaciones: adaptable a múltiples escalas y sectores energéticos.</li> <li>• Acceso a incentivos y regulaciones favorables: la reutilización de baterías puede beneficiarse de normativas de energías renovables y reciclaje.</li> <li>• Innovación en almacenamiento energético: permite el desarrollo de soluciones a medida para diferentes necesidades.</li> </ul>

### 3.7 ÁMBITO VII: Reciclaje de baterías: producción de *black mass*

El proceso global de reciclaje de baterías puede dividirse en tres grandes frases, una vez que las baterías han sido acondicionadas incluyendo su desactivación para reducir riesgos y un desensamblaje total o parcial de sus componentes estructurales para separar los módulos o incluso celdas:

- I. **Producción de *black mass* (preprocesado):** Comprende las operaciones térmicas y mecánicas (como la trituración) que permiten obtener la masa negra o *black mass*, una mezcla rica en metales valiosos provenientes de los ánodos y cátodos de las baterías. La *black mass* o masa negra representa aproximadamente el 40-50 % del peso total de una batería de vehículo eléctrico.
- II. **Refino y recuperación de metales:** A partir de la *black mass*, los metales son extraídos mediante procesos hidrometalúrgicos:
  - Níquel, cobalto y manganeso, recuperados como hidróxidos, sulfatos, carbonatos o metales puros.
  - Litio, generalmente extraído como carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) o fosfato de litio ( $\text{Li}_3\text{PO}_4$ ).
  - Cobre y hierro, precipitados como hidróxidos o recuperados por electrólisis.
- III. **Producción de nuevos materiales para baterías:** cerrando el ciclo, los materiales recuperados se utilizan como precursores para fabricar nuevos materiales para baterías, generalmente CAM (*Cathode Active Materials*) tipo NMC, impulsando la economía circular y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.

Esta sección se enfoca en la primera de estas fases: la producción de *black mass*, considerada el primer paso del reciclaje de baterías y clave para la recuperación de materiales estratégicos.

#### 3.7.1 Reto

El reciclaje de baterías no solo se nutre de baterías retiradas al final de su vida útil (EoL), sino también de desechos industriales generados durante la fabricación de celdas y módulos (*scrap*).

- Hasta 2030, el *scrap* de fabricación será la principal fuente de material reciclable.
- Después de 2030, las baterías usadas superarán al *scrap* como fuente predominante de reciclaje.

Durante la fase de escalado de una gigafactoría, entre el 30-50 % de la producción inicial puede ser rechazada. Una vez estabilizada la producción, este porcentaje cae al 5-10 %, dependiendo de la optimización del proceso. En gigafactorías maduras el *scrap* debe ser inferior al 5% para asegurar la rentabilidad y competitividad de la planta.

Esta dinámica es clave en el ecosistema europeo de baterías, donde la rápida instalación de gigafactorías aumentará la disponibilidad de *scrap*, impulsando la necesidad de infraestructuras de reciclaje avanzadas. A medio plazo el suministro de *scrap* al mercado de reciclaje irá disminuyendo su velocidad de crecimiento debido a la progresiva mejora en los procesos de fabricación, compensando parcialmente el incremento en el número de instalaciones tipo gigafactoría:

### Scrap battery supply forecast

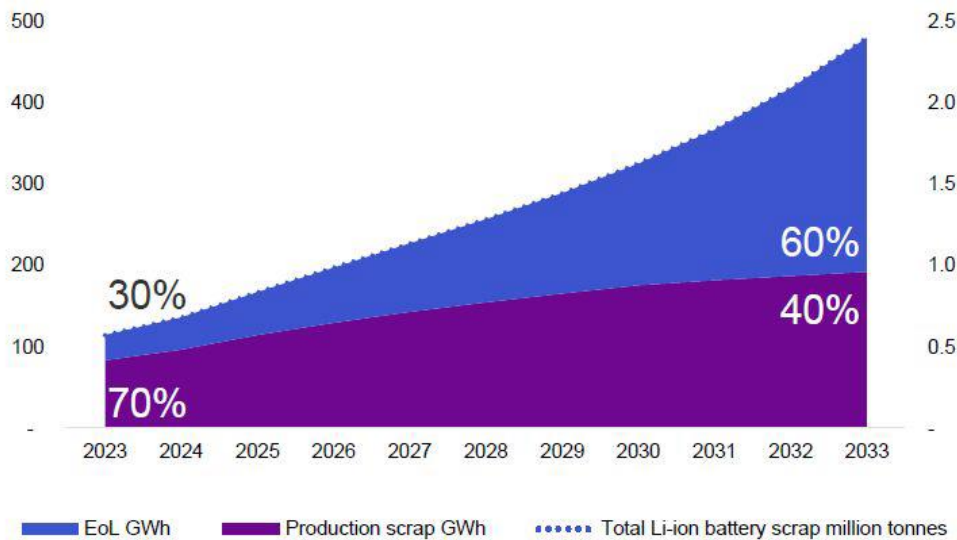


Figura 13: Pronóstico de suministro de scrap comparado con las baterías de fin de vida para el reciclado de baterías (Fuente: Fastmarkets battery recycling and black mass outlook)

### Reciclaje directo: una alternativa emergente

Una de las innovaciones más prometedoras en el sector del reciclaje es el Reciclaje Directo, un enfoque que aún se encuentra en fase de investigación. A diferencia de los métodos convencionales, el reciclaje directo se basa en la separación física de los materiales activos de los electrodos con el objetivo de reutilizarlos en la fabricación de nuevas celdas sin alterar sus características estructurales ni químicas. Este método tiene el potencial de ser más eficiente y menos intensivo en energía en comparación con la hidrometalurgia o la pirometalurgia. Sin embargo, aún no ha sido implementado a escala industrial debido a los desafíos técnicos asociados a la recuperación de materiales en condiciones óptimas para su reutilización.

### Contexto del mercado

Se prevé que la demanda de baterías de litio ion se multiplique por cinco para 2033, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 15 %. Este crecimiento disparará la demanda de metales



estratégicos, aumentando la presión sobre la cadena de suministro de materiales para baterías. A corto plazo, el reciclaje ofrecerá una seguridad de suministro marginal, especialmente en regiones con baja producción de metales primarios. Sin embargo, a largo plazo, se convertirá en un pilar clave para garantizar el abastecimiento de materiales críticos y reducir la dependencia de la minería primaria. Para 2040, se espera que el mercado europeo de reciclaje de baterías se multiplique por diez respecto a 2030, impulsado inicialmente por los *scraps* industriales y, posteriormente, por el volumen creciente de baterías retiradas.

Aspectos relevantes a tener en cuenta:

- a) **Evolución en la composición química de las baterías:** los actuales procesos de reciclaje de baterías de litio ion están enfocados principalmente en la recuperación de materiales activos del cátodo, ya que estos contienen los metales más valiosos y menos abundantes. Sin embargo, la evolución en la química de las celdas tendrá un impacto significativo en la viabilidad y eficiencia del reciclaje. Actualmente, las baterías NMC (níquel, cobalto, manganeso) son predominantes en la industria, pero nos encontramos en una transición gradual hacia baterías LFP (litio, hierro, fosfato) debido a su menor costo, mayor seguridad y estabilidad química. Para 2030, se estima que más del 50 % del material reciclado provendrá de baterías LFP, lo que requerirá ajustes en las tecnologías de reciclaje para gestionar estos nuevos compuestos con menor contenido de metales críticos y de las que actualmente prácticamente sólo se recupera el litio.
- b) **Fin de vida de las primeras oleadas de vehículos eléctricos:** el crecimiento del mercado de vehículos eléctricos traerá consigo un aumento progresivo en el volumen de baterías retiradas. Se espera que la primera ola significativa de baterías de vehículos eléctricos alcance el final de su vida útil en 2030, lo que generará un fuerte impulso para el sector del reciclaje.
- c) **Incremento de la masa total de baterías disponibles para reciclaje:** Se estima que en 2023 la cantidad de baterías para reciclar alcanzó los 110 GWh ( $\approx$  5.5 millones de toneladas), y se prevé que esta cifra aumente hasta los 480 GWh ( $\approx$  2.4 millones de toneladas) en 2033 -ver figura anterior-. Esta tendencia subraya la importancia de expandir la capacidad de reciclaje y mejorar la eficiencia de los procesos industriales para gestionar la creciente diversidad de materiales que ingresarán al mercado.

### Contexto legislativo

El marco regulatorio juega un papel clave en la consolidación del reciclaje de baterías como una actividad estratégica dentro de la economía circular. En este sentido, la Unión Europea ha implementado normativas ambiciosas para impulsar la recuperación de materiales y reducir el impacto ambiental de la cadena de valor de las baterías. Con la adopción de la nueva Regulación de Baterías de la UE en 2023, se



ha marcado un hito en la construcción de una cadena de valor más sostenible y competitiva dentro del territorio europeo.

En comparación con Europa, Estados Unidos aún no ha establecido obligaciones formales para el reciclaje de baterías o tasas mínimas de recuperación, mientras que países como China y Corea del Sur ya cuentan con regulaciones avanzadas y requisitos estrictos de eficiencia en reciclaje.

Algunos de los puntos clave de este marco regulador europeo incluyen:

- a) **Actualización de la Directiva de Baterías de 2006:** la normativa europea ha sido revisada para regular el ciclo de vida completo de todas las baterías, desde la producción hasta el reciclaje, con criterios específicos sobre sostenibilidad y responsabilidad del productor.
- b) **Responsabilidad extendida del productor y objetivos de reciclaje:** la nueva regulación introduce requisitos más estrictos en la fase de fin de vida de las baterías, con metas de recolección, recuperación y reutilización de materiales. Se establece la responsabilidad ampliada del productor, lo que obliga a los fabricantes a gestionar adecuadamente las baterías al final de su vida útil.
- c) **Eficiencia de reciclaje y metas de recuperación:** a partir de 2031, la normativa exige una eficiencia mínima del 70 % en los procesos de reciclaje, con incrementos progresivos en las tasas de recuperación de materiales estratégicos. Además, para 2035, se prevé la introducción de un contenido mínimo obligatorio de materiales reciclados en la fabricación de nuevas baterías.

Este marco regulatorio refleja el compromiso de la UE con la sostenibilidad y la transición hacia una economía circular en el sector de las baterías. La implementación efectiva de estas normativas será clave para garantizar la disponibilidad de materiales críticos, reducir la huella de carbono del sector y fomentar un ecosistema de reciclaje más eficiente y competitivo.

### Tecnologías de reciclaje

El reciclaje de baterías de litio ion implica una serie de procesos diseñados para recuperar materiales valiosos y reducir el impacto ambiental. Actualmente, existen diversas rutas industriales de reciclaje en operación, mientras que otras tecnologías están en fase de desarrollo y prueba. La siguiente figura presenta una descripción general de los procesos convencionalmente más empleados en la recuperación de materiales de baterías de litio ion:

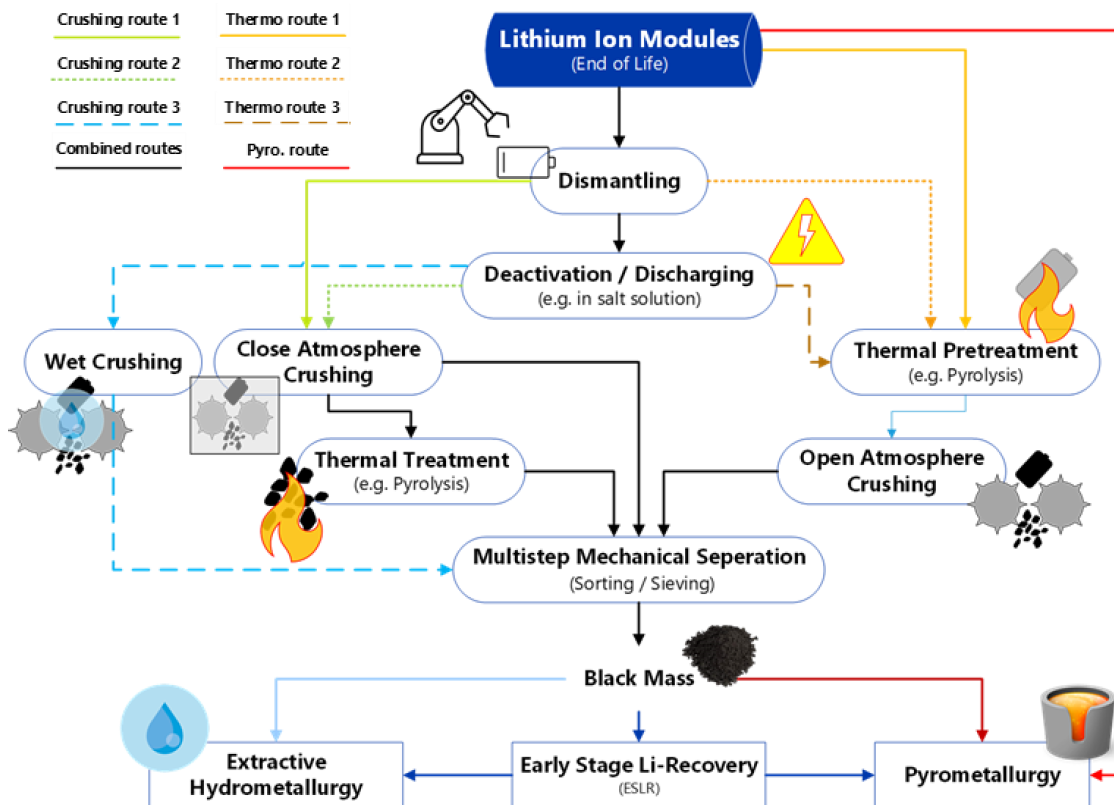


Figura 14: Posibles rutas de reciclaje convencionales

(Fuente: B. Friedrich, P. Sabarny, and C. Stallmeister, "Process Flow Alternatives for Lithium Batteries Recycling," 2021, DOI: 10.13140/RG.2.2.21948.16005).

1. **Recolección y clasificación:** las baterías usadas se recogen de distintas fuentes (vehículos eléctricos, dispositivos electrónicos, almacenamiento estacionario) y se clasifican según su tipo químico y estado.
2. **Desmontaje inicial:** en función de la estrategia del reciclador, las baterías pueden desmontarse parcialmente para separar componentes como carcasas, terminales, sistemas de gestión de batería (BMS) o módulos internos.
3. **Trituración:** las baterías se trituran en fragmentos más pequeños para facilitar la separación de materiales. Este proceso debe realizarse en un ambiente controlado para evitar fugas de electrolito y con las debidas condiciones de seguridad.
4. **Separación de materiales:** los fragmentos resultantes se someten a procesos mecánicos, químicos o térmicos para separar materiales clave, como metales valiosos (litio, cobalto, níquel), plásticos, electrolitos y otros componentes.
5. **Tratamientos específicos:** dependiendo de la estrategia de reciclaje, los materiales extraídos pueden ser procesados mediante diferentes métodos:
  - **Procesos térmicos:** se utilizan hornos de alta temperatura para quemar componentes orgánicos y recuperar metales fundidos.



- **Procesos hidrometalúrgicos:** se emplean soluciones químicas para disolver los metales y recuperar compuestos como carbonato de litio y sulfatos de níquel y cobalto.
  - **Procesos pirometalúrgicos:** a través de altas temperaturas se recuperan metales valiosos y se neutralizan materiales peligrosos.
6. **Refino:** los materiales recuperados se purifican para cumplir con los estándares industriales y permitir su reutilización en la fabricación de nuevos materiales para baterías o en otras aplicaciones industriales.
  7. **Gestión de residuos no reciclables:** los materiales que no pueden ser recuperados de manera eficiente se tratan adecuadamente para minimizar su impacto ambiental, ya sea a través de su estabilización, confinamiento o disposición en condiciones seguras.

Es importante destacar que no existe un proceso único de reciclaje aplicable a todas las baterías de litio. Las tecnologías varían según el reciclador, el tipo de baterías procesadas y la estrategia de recuperación adoptada. La figura anterior ofrece una visión ilustrativa de los enfoques más utilizados en la industria.

En términos operativos, las empresas productoras de *black mass* generalmente reciben baterías ya desactivadas y parcialmente desensambladas, evitando así riesgos de seguridad y optimizando sus procesos. Sin embargo, algunos operadores han desarrollado iniciativas a mayor escala que incluyen la clasificación, desactivación y desmontaje como parte integral de sus operaciones, ofreciendo una solución más verticalizada para la recuperación de materiales.

#### **Materiales críticos extraíbles de la *black mass* como producto básico**

La composición de la *black mass* varía en función del tipo y estado de las baterías recicladas, así como de la eficiencia del proceso de recuperación. Una composición típica puede incluir los siguientes elementos en porcentaje de peso:

- Compuestos de litio: 2-6 %
- Cobalto: 5-20 %
- Níquel: 5-15 %
- Cobre: 3-10 %
- Aluminio: 1-5 %
- Hierro: 1-5 %
- Manganeso: 2-10 %
- Resto: Grafito, con escamas de hierro, aluminio y cobre



La *black mass* es el insumo fundamental en la cadena de reciclaje, ya que contiene los metales críticos que posteriormente se extraen y refinan para la fabricación de nuevas baterías o para su uso en otras aplicaciones industriales. Su comercialización permite a los recicladores optimizar la eficiencia del proceso, convirtiéndose en un vínculo clave entre el pretratamiento de baterías y la recuperación final de los metales estratégicos.

### **Black mass como mercancía**

El mercado de reciclaje de baterías está estructurado en torno a dos tipos principales de actores, aunque en algunos casos pueden estar integrados dentro de la misma empresa:

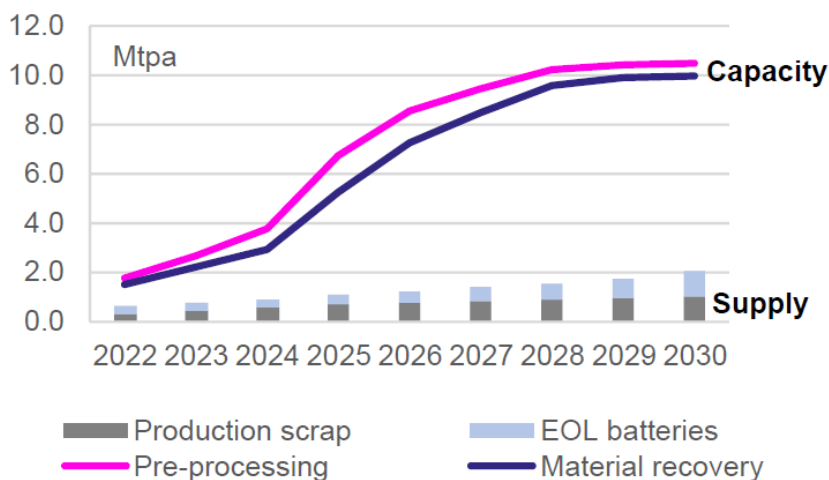
- 1) **Preprocesadores:** empresas que procesan las baterías en productos intermedios, generalmente en forma de *black mass*, que contiene una combinación de materiales valiosos como litio, cobalto y níquel.
- 2) **Empresas de recuperación de materiales:** entidades que utilizan la *black mass* como insumo para extraer y refinar materiales como sulfato de níquel, sulfato de cobalto y carbonato de litio, que pueden ser reutilizados en la fabricación de nuevas baterías.

Este modelo de especialización permite una mayor eficiencia en la recuperación de materiales. Los preprocesadores simplifican el manejo inicial de las baterías desechadas, mientras que las empresas de recuperación se enfocan en maximizar la eficiencia en la extracción de metales.

Hay que tener en cuenta que la capacidad global instalada para el reciclaje de baterías de iones de litio está en constante crecimiento, impulsada por la anticipación de una mayor demanda futura de materiales reciclados debido al auge de los vehículos eléctricos y dispositivos electrónicos. Sin embargo, actualmente existe una discrepancia entre esta capacidad creciente y la disponibilidad limitada de baterías al final de su vida útil y desechos de producción, lo que da lugar a una situación sobrecapacidad en el sector.



### Pre-processing, material recovery and available scrap



Source: Circular Energy Storage

Figura 15: Preprocesado, recuperación de material y scrap disponible.

### Precios y mercado de la *black mass*

En 2023, la producción mundial de *black mass* alcanzó aproximadamente 0.5 millones de toneladas, y se estima que esta cifra aumente hasta 1 millón de toneladas para 2027. A pesar del crecimiento del mercado, uno de los desafíos más importantes es la falta de uniformidad en los precios y pagos en distintas regiones, lo que genera incertidumbre en la comercialización de este material. Además, aún no está claro si los recicladores podrán imponer un precio premium basado en criterios de sostenibilidad o reducción de huella de carbono.

Los principales factores que afectan el precio de la *black mass* son los siguientes:

- Contenido de níquel y cobalto:** actualmente, el valor de la masa negra se establece en función del porcentaje recuperable de níquel y cobalto, ya que estos metales siguen siendo los más demandados. Por ejemplo, en Corea del Sur, los pagos se calculan en torno al 70 % del precio de mercado para el níquel y el cobalto, y al 4.5 % para el litio.
- Diferencias geográficas en los precios:** en Asia, el precio de la *black mass* derivada de baterías NMC (níquel, cobalto, manganeso) y NCA (níquel, cobalto, aluminio) es aproximadamente un 20 % más alto que en Europa. Esto se debe a que las tasas de recuperación en la región asiática suelen ser más altas. En Europa, la mayor capacidad de pretratamiento en comparación con la refinación genera un exceso de oferta de *black mass*, lo que ejerce presión a la baja sobre los precios.



- **Impacto de las impurezas:** la presencia de impurezas en la *black mass* afecta directamente su valor de mercado, ya que un mayor contenido de materiales no deseados implica costos adicionales en los procesos de refinación y purificación.
- **Altos costos de inversión (CAPEX):** los centros de refino requieren grandes inversiones en infraestructura, ingeniería y adquisición de equipos, lo que incrementa los costos de operación y puede limitar la rentabilidad del negocio.
- **Falta de claridad y estandarización:** actualmente, el mercado de reciclaje de baterías carece de un marco de referencia estandarizado para estructurar costos, pagos y tasas de recuperación. Esta falta de regulación uniforme dificulta la previsibilidad del negocio y la capacidad de establecer precios de manera consistente.

En conclusión, aunque el mercado de la masa negra está en plena expansión, sigue enfrentando obstáculos importantes en términos de volatilidad de precios, falta de estándares, altos costos de refinación y variabilidad en la calidad del material procesado. Superar estos desafíos será clave para consolidar un mercado más eficiente y estructurado en los próximos años.

### Desafíos para emprendedores

La necesidad de impulsar el reciclaje de baterías se debe al aumento en la producción de baterías, una regulación estricta, los objetivos de sostenibilidad y la escasez de materias primas. Sin embargo, el reciclaje enfrenta desafíos en varios frentes:

- **La competencia en el mercado del reciclaje de baterías es alta.** El sector está en plena expansión, con más de 30 proyectos anunciados en la UE para 2023. Actores predominantes como fabricantes de celdas, OEM automotrices y recicladores tradicionales, están consolidando su posición. Por lo que la ventana de oportunidad para nuevos actores es limitada, lo que obliga a innovar y optimizar costos para ser competitivos. No obstante, durante 2024 se ha venido observando diferentes anuncios sobre la paralización de algunas plantas de reciclado de baterías en Europa, motivada por la inseguridad que genera la actual coyuntura local del sector del vehículo eléctrico.
- Las **aplicaciones de segunda vida** retrasan el acceso de las baterías al reciclaje, reduciendo la oferta de material disponible. Además, las diferencias regulatorias permiten en algunos mercados la disposición en vertederos, afectando las tasas de reciclaje y desviando materiales potencialmente recuperables.
- Las **barreras de entrada** son significativas debido a los altos costos operativos y de inversión. Desafíos como la necesidad de procesar grandes volúmenes para lograr economías de escala, la ausencia de incentivos económicos claros y la dificultad de escalar tecnologías eficientes representan retos adicionales para las nuevas empresas.

- El **poder de negociación en la cadena de valor** también influye en la rentabilidad del sector. El mercado de materiales refinados está dominado por pocos actores, lo que da a los compradores una ventaja en la fijación de precios. Por otro lado, los fabricantes de celdas controlan el acceso a los residuos industriales, concentrando la oferta de material reciclable y limitando la flexibilidad de los recicladores.

Estos factores configuran un entorno donde la consolidación del mercado, la optimización de costos y la diferenciación tecnológica serán clave para la viabilidad de los proyectos de reciclaje de baterías a largo plazo.



Figura 16: Desafíos para emprendedores en el reciclaje de baterías (Fuente: Volta Foundation)

El reciclaje de baterías representa una oportunidad clave dentro de la economía circular, pero enfrenta retos significativos. La alta competencia, los elevados costos de entrada, la variabilidad en la eficiencia de recuperación de materiales y el dominio de grandes actores en la cadena de suministro son factores que pueden dificultar la rentabilidad y el crecimiento de nuevas iniciativas. Superar estos desafíos requerirá innovación tecnológica, optimización de procesos y estrategias de negocio que permitan diferenciarse en un mercado en rápida evolución.

### Desafíos en la cadena de suministro

La cadena de suministro del reciclaje de baterías presenta complejidades que afectan su rentabilidad y eficiencia. Uno de los principales riesgos es la exportación de baterías a países con regulaciones ambientales menos estrictas, lo que puede derivar en problemas de seguridad y salud debido a la



manipulación inadecuada de materiales peligrosos como metales pesados y litio. Para mitigar este problema, es fundamental avanzar hacia una legislación internacional estandarizada que establezca normas claras para la disposición de residuos peligrosos y la responsabilidad del productor. Una regulación coherente a nivel global incentivaría a fabricantes, recicladores y gobiernos a adoptar prácticas más sostenibles, reduciendo el impacto ambiental del sector.

Un marco normativo armonizado también facilitaría la transparencia en las operaciones de reciclaje y desincentivaría las exportaciones no reguladas, promoviendo el desarrollo de infraestructuras eficientes que mejoren la viabilidad económica del reciclaje de baterías.

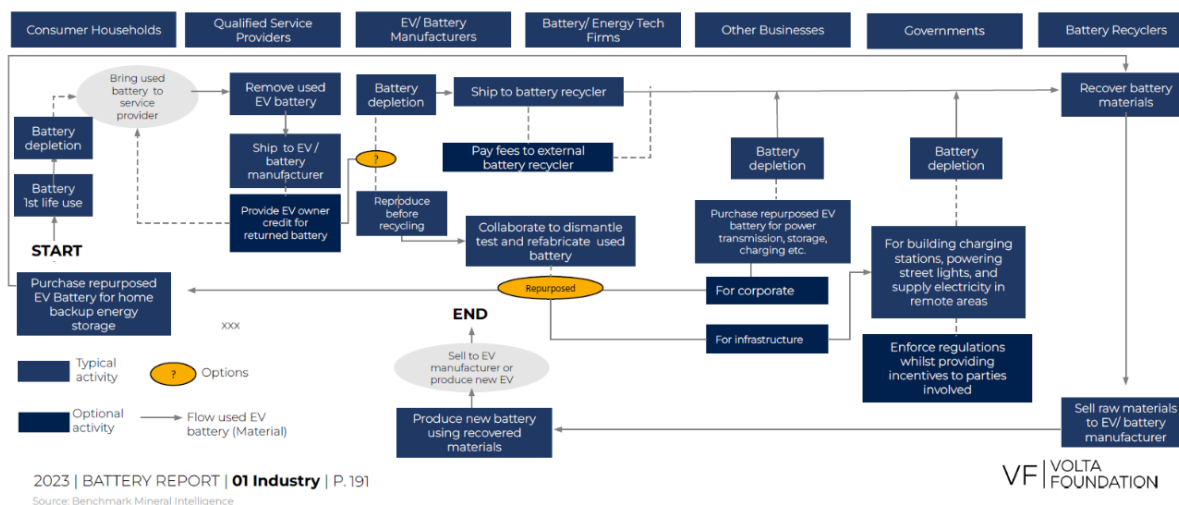


Figura 17: Desafíos en la cadena de suministro del reciclaje de baterías (Fuente: Volta Foundation)

Por otro lado, existen diferencias significativas entre el reciclaje de *scrap* industrial y el reciclaje de baterías al final de su vida útil. Mientras que el suministro de *scrap* es homogéneo, centralizado y constante, el flujo de baterías usadas es más irregular, descentralizado y con un desfase temporal de varios años antes de su llegada al reciclaje. Esto implica que la experiencia en el manejo de *scrap* no garantiza una ventaja competitiva en la gestión de baterías EoL, ya que los desafíos operativos y logísticos son distintos.

### Situación legislativa de la *black mass*

En marzo de 2025 la Comisión Europea anunció la adopción de un acto delegado que actualiza, en el ámbito de las baterías, el listado comunitario de residuos peligrosos y no peligrosos recogido en la Decisión 2000/532/EC. Concretamente, se introducen nuevos códigos para residuos relacionados con diversas químicas de baterías (basadas en litio, en nickel, zinc, sodio o sodio-azufre), diferenciando los residuos generados en el proceso de fabricación de baterías y los residuos de baterías usadas, así como las fracciones intermedias de su tratamiento (*black mass*). Algunos de estos residuos se clasifican como



peligrosos, entre ellos la *black mass*. La medida tiene como objetivo garantizar una gestión más segura y eficiente de los residuos de baterías, imponiendo restricciones a los identificados como peligrosos, tanto en su manipulación como en su destino geográfico, limitándolo a los países miembros de la OCDE. De este modo, se contribuye no sólo a proteger el medio ambiente y la salud humana, sino que se favorece la economía circular de las baterías (en línea con la Regulación), manteniendo los materiales críticos dentro de la UE y reforzando su autonomía estratégica. El acto delegado entrará en vigor 20 días después de su publicación en el Diario Oficial de la UE si el Parlamento y el Consejo no se oponen. Los Estados miembros tendrán que adaptar sus procedimientos de autorización para incluir los nuevos códigos y los gestores de residuos deberán adecuarse a los requerimientos más estrictos de gestión y transporte de los nuevos residuos clasificados como peligrosos.

### 3.7.2 Oportunidades de negocio identificadas

En esta fase del reciclaje de baterías se destacan dos áreas de oportunidad: por un parte, el desarrollo y suministro de equipamiento para la producción de *black mass*, y por otro la propia operación de plantas de producción. La siguiente tabla detalla las características y el potencial de cada una de estas oportunidades:



OP10: Fabricación y suministro de maquinaria y equipamiento para producción de <i>black mass</i>	
<b>1. Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño y fabricación de equipos para la producción de <i>black mass</i> a partir de celdas, módulos o packs ya acondicionados.</li> </ul> <p><b>Características clave:</b></p> <p>Equipamiento para pretratamientos mecánicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trituradoras (<i>Shredders</i>)</li> <li>• Molinos de Martillos (<i>Hammer Mills</i>)</li> <li>• Separadores Magnéticos y de Corrientes Eddy</li> <li>• Sistemas de Clasificación por Tamaño (<i>Screening Systems</i>)</li> <li>• Sistemas de Filtración y Extracción de Polvos</li> <li>• Prensas Hidráulicas</li> </ul> <p>Equipamiento para Pretratamientos Térmicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hornos de Calcinación (<i>Rotary Kiln</i>)</li> <li>• Hornos Pirometalúrgicos (<i>Furnaces</i>)</li> <li>• Sistemas de Control de Emisiones (<i>Scrubbers</i>)</li> <li>• Sistemas de Enfriamiento</li> </ul> <p>Sistemas de Seguridad y Equipamiento Auxiliar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de Aislamiento Hermético</li> <li>• Transportadores de Materiales</li> <li>• Estaciones de Carga y Descarga Automática</li> <li>• Sistemas de Inertización y extinción de Incendios</li> </ul>
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productores de maquinaria para procesamiento de residuos metálicos y materiales similares.</li> <li>• Empresas de ingeniería industrial que buscan diversificar su portafolio en el sector del reciclaje de baterías.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de equipos para procesamiento de baterías y producción de <i>black mass</i>.</li> <li>• Servicios de instalación y mantenimiento de maquinaria.</li> <li>• Consultoría para optimización de procesos de reciclaje y seguridad industrial.</li> </ul>
<b>3. Mercado objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industria del reciclaje de baterías.</li> <li>• Productores de <i>black mass</i>.</li> </ul>



<b>OP10: Fabricación y suministro de maquinaria y equipamiento para producción de <i>black mass</i></b>	
<b>4. Capacidades requeridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en sectores afines, como el procesamiento de residuos electrónicos o metales.</li> <li>• Conocimiento sobre la estructura y composición de baterías, incluyendo su diseño mecánico, materiales y riesgos asociados (eléctricos, químicos, emisiones, inflamabilidad, explosividad, etc.).</li> <li>• Capacidad para desarrollar soluciones a medida que cumplan con regulaciones ambientales y de seguridad.</li> </ul>
<b>5. Infraestructura o equipamiento necesario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación industrial con capacidad para ensamblaje y fabricación de equipamientos.</li> <li>• Planta de prueba y desarrollo de productos con las condiciones de seguridad adecuadas.</li> <li>• Laboratorio de validación y certificación de procesos de reciclaje.</li> <li>• Sistemas de gestión de calidad y seguridad en entornos industriales.</li> </ul>
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personalización de soluciones diseñadas para maximizar la recuperación de materiales valiosos de formulaciones específicas.</li> <li>• Eficiencia operativa y escalabilidad: equipos adaptables a distintos volúmenes de procesamiento y composición.</li> </ul>



OP11: Planta de producción de <i>black mass</i>	
1. Descripción	<p>Una empresa productora de <i>black mass</i> recibe baterías o módulos ya desactivados y parcialmente desensamblados para su procesamiento. Las principales actividades incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción y Clasificación de las baterías para reciclar (puede integrar la fase de diagnóstico si no se ha realizado anteriormente).</li> <li>• Desmontaje y separación de inertes (metales, plásticos estructurales):</li> <li>• Producción de <i>black mass</i> como fracción resultante de los procesos de trituración y separación.</li> <li>• Tratamiento de Residuos: dependiendo del proceso, pueden necesitar neutralización química o tratamiento especial para reducir su impacto ambiental.</li> <li>• Seguridad: protocolos rigurosos para manejar el riesgo de incendios, explosiones y exposición a materiales tóxicos.</li> <li>• Control de calidad: análisis periódicos de la <i>black mass</i> para asegurar que contenga los metales en las proporciones esperadas y cumpla con los estándares de calidad requeridos para su venta o procesamiento posterior.</li> <li>• Automatización y digitalización de procesos (realizable por terceros).</li> <li>• Normativas y cumplimiento Legal: cumplimiento con todas las regulaciones ambientales y de seguridad impuestas tanto a nivel nacional como de la UE, gestión de residuos peligrosos, etc.</li> </ul>



OP11: Planta de producción de <i>black mass</i>	
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupos industriales con capacidad de inversión y experiencia previa en reciclaje de diferentes productos, interesadas en expandir mercado.</li> </ul> <p><b>Modelo de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de <i>black mass</i>: a refinadores y fabricantes de baterías.</li> <li>• Tarifas por reciclaje de baterías: cobro a proveedores por la gestión de baterías de fin de vida, en función del volumen y tipo de material recibido.</li> <li>• Consultoría y certificación: brindar asesoría a empresas sobre la optimización del reciclaje de baterías y certificaciones de sostenibilidad.</li> </ul>
<b>3. Punto de partida</b>	<p>El proceso puede partir de baterías de fin de vida sin acondicionar o de producto desactivado/desmantelado, dependiendo del modelo de negocio adoptado.</p> <p>Para garantizar un suministro estable, se requieren acuerdos con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proveedores de <i>battery packs</i> de fin de vida, como <i>marketplaces</i> de baterías, OEMs y gigafactorías con producción de <i>scrap</i>.</li> <li>• Talleres de reparación, concesionarios y desguaces, que ofrecen una mayor capilaridad pero menor consistencia en volumen y tipo de producto. Puede requerir colaboración con agentes logísticos externos para mayor eficiencia.</li> <li>• Suministradores de baterías y sus subcomponentes, ya desactivados y total o parcialmente desensamblados en módulos o celdas.</li> </ul>
<b>4. Mercado objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesadores de <i>black mass</i>.</li> <li>• Organizaciones tipo <i>marketplace</i> que incluyen la <i>black mass</i> entre su gama de productos.</li> </ul>



OP11: Planta de producción de <i>black mass</i>	
<b>5. Capacidades requeridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en sectores afines.</li> <li>• Conocimiento acerca de la estructura básica de una batería (<i>battery pack</i>), sus materiales, estructura dimensional y mecánica, condicionantes de seguridad (eléctricos, químicos, emisiones, inflamabilidad, explosividad, etc.).</li> <li>• Conocimiento acerca de los procesos específicos implicados.</li> <li>• Conocimiento profundo y actualizado de las normativas de seguridad y normativas aplicables.</li> </ul>
<b>6. Infraestructura o equipamiento necesario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones industriales con condiciones óptimas de seguridad y cumplimiento normativo.</li> <li>• Equipos de trituración, separación y refinado para la producción eficiente de <i>black mass</i>.</li> <li>• Sistemas de monitoreo y control de calidad, para asegurar la composición óptima del producto final.</li> <li>• Infraestructura para el tratamiento de residuos peligrosos, reduciendo el impacto ambiental y cumpliendo regulaciones vigentes.</li> </ul>



## 3.8 ÁMBITO VIII: Refino de *black mass*

Una vez que las baterías de fin de vida han sido procesadas hasta convertirse en *black mass*, el siguiente paso en la cadena de reciclaje es la extracción y recuperación de los metales valiosos contenidos en ella. Este proceso suele realizarse a través de tecnologías hidrometalúrgicas, aunque algunos operadores combinan estos métodos con tratamientos térmicos.

### 3.8.1 Retos

Históricamente, los refinadores de *black mass* han priorizado la recuperación de materiales de alto valor como el níquel y el cobalto, esenciales en baterías NCM y NCA. Sin embargo, la nueva regulación europea de baterías exige tasas de recuperación más elevadas y la reutilización de un mayor porcentaje de materiales, lo que obliga a ampliar el enfoque para incluir otros componentes, como el litio, el hierro y el fosfato presentes en baterías LFP. Además, el grafito anódico, que representa una fracción significativa de la batería, puede ser regenerado para su reutilización en la fabricación de nuevos ánodos, cerrando así aún más el ciclo de los materiales estratégicos en la industria de almacenamiento energético.

#### Consideraciones sobre la rentabilidad de las baterías recicladas

Para que una planta de refino de *black mass* sea económicamente viable, es fundamental definir con precisión los materiales objetivo a recuperar. La rentabilidad del proceso depende del valor de mercado de los metales recuperados y de la demanda de los precursores obtenidos. En este sentido, el reciclaje de baterías NMC suele ser más rentable que el de baterías LFP, debido a la mayor presencia de metales valiosos como níquel y cobalto. En el caso de las baterías LFP, la viabilidad económica depende principalmente de la recuperación eficiente del litio, mientras que el hierro y el fosfato presentan menor valor comercial:

#### 1. Baterías LFP (Litio-Ferrofosfato)

- No contienen metales de alto valor como níquel o cobalto, por lo que la recuperación del litio es clave para la rentabilidad.
- El litio está presente tanto en el electrolito como en la estructura del fosfato de litio, lo que hace que su recuperación sea prioritaria.
- La estrategia de reciclaje se enfoca en extraer el litio en forma de carbonato o hidróxido de litio, mientras que el hierro y el fosfato tienen menor atractivo comercial.

#### 2. Baterías NMC (Níquel-Manganeso-Cobalto)

- Contienen níquel y cobalto, los metales de mayor valor, cuya recuperación es prioritaria.



- El litio está presente en menor proporción y puede perderse en algunos procesos de lixiviación si no se optimiza su recuperación.
- Algunas instalaciones de reciclaje han priorizado históricamente el níquel y el cobalto, dejando el litio como un subproducto con menor atención. Sin embargo, las regulaciones más estrictas y el aumento del precio del litio han impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías para maximizar su recuperación.

La gráfica siguiente ofrece una estimación de la rentabilidad del reciclaje de diferentes tipos de baterías en diferentes países atendiendo a diversas condiciones de contorno. Dada la variabilidad en los precios de las materias primas vírgenes, y el hecho de ser un estudio fechado en 2021, para considerar a título meramente ilustrativo:

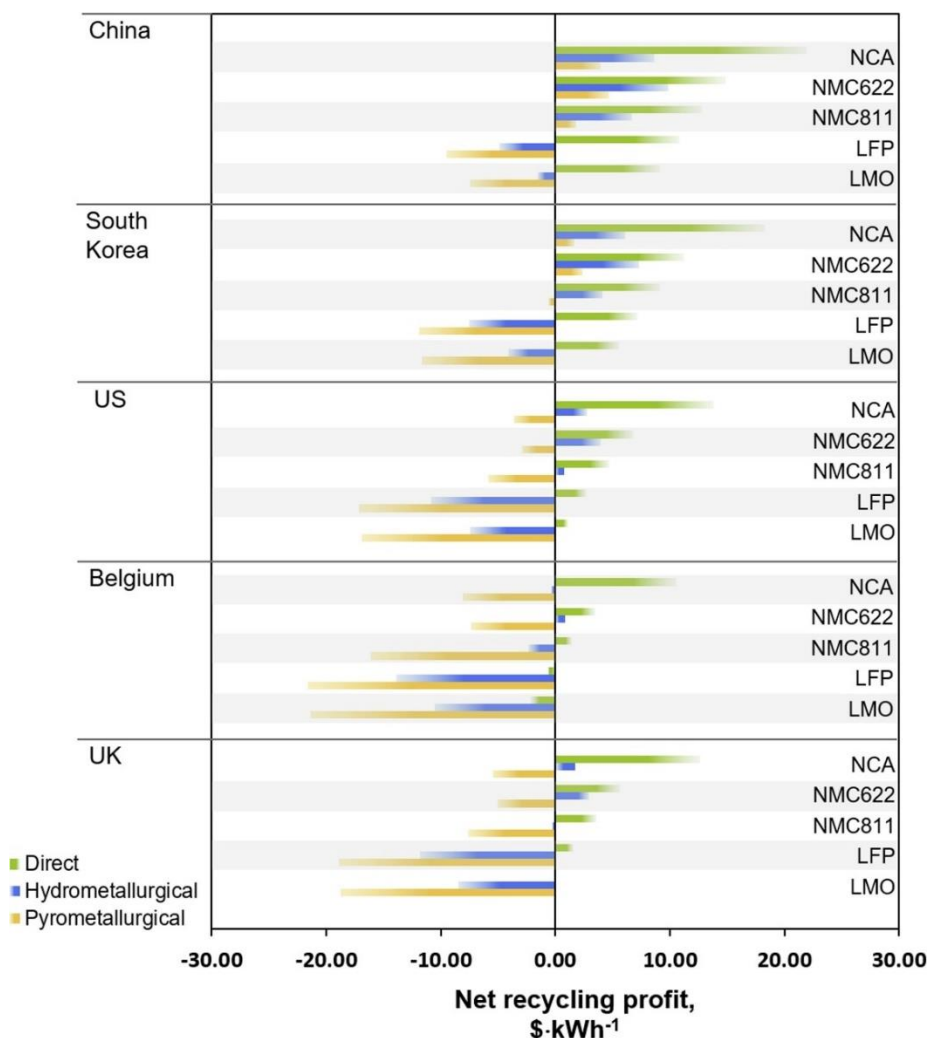


Figura 18: Rentabilidades netas de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos en \$-kWh<sup>-1</sup>, en comparación con cinco países, utilizando los costos de transporte cotizados. Las barras que apuntan a la izquierda muestran una pérdida general, y las barras que apuntan a la derecha una ganancia general (Fuente: L. Lander et al., iScience Volumen 24, Número 7, 23 de julio de 2021, 102787)

## Recuperación de metales a partir de la *black mass*

El refinado de *black mass* mediante hidrometalurgia permite extraer metales valiosos en diversas formas químicas, dependiendo del proceso utilizado. Los productos obtenidos pueden clasificarse en:

1. **Hidróxidos metálicos ( $M(OH)_2$  o  $M(OH)_3$ )**
  - Metales como níquel, cobalto y manganeso pueden precipitarse como hidróxidos al ajustar el pH de la solución en la etapa de precipitación selectiva.
  - Estos hidróxidos pueden procesarse posteriormente para la producción de sales o metales puros.
2. **Sales metálicas (sulfatos, carbonatos, cloruros, etc.)**
  - En la lixiviación con ácido sulfúrico, los metales se presentan como sulfatos (ejemplo:  $CoSO_4$ ,  $NiSO_4$ ,  $MnSO_4$ ,  $Li_2SO_4$ ).
  - En algunos procesos, pueden convertirse en carbonatos metálicos mediante la adición de carbonato de sodio o amonio.
  - También es posible su transformación en cloruros si se utiliza ácido clorhídrico en la lixiviación.
3. **Metales puros**
  - A través de electrólisis, se pueden recuperar metales como níquel, cobalto y cobre en su forma metálica.
4. **Litio como fosfato o carbonato**
  - El litio suele recuperarse como carbonato de litio ( $Li_2CO_3$ ) mediante precipitación con carbonato de sodio.
  - También puede obtenerse como fosfato de litio ( $Li_3PO_4$ ) en procesos específicos.

### 3.8.2 Oportunidades identificadas

En el ámbito del refinado de *black mass* se han identificado tres principales oportunidades de negocio. La primera está relacionada con el desarrollo y suministro de equipamiento especializado para la recuperación de materiales, abarcando tecnologías de hidrometalurgia y optimización de procesos. La segunda se enfoca en las instalaciones de refinado, donde se procesan los metales extraídos para convertirlos en precursores reutilizables en la fabricación de baterías. Finalmente, la tercera oportunidad radica en la producción de materiales para baterías a partir de origen reciclado, consolidando una cadena de valor sostenible. Las siguientes tablas detallan cada una de estas oportunidades y su potencial en el mercado:



OP12: Diseño y fabricación de líneas de procesamiento de <i>black mass</i> por hidrometalurgia	
<p><b>1. Descripción</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño y fabricación de líneas de procesamiento de <i>black mass</i> integrando procesos químicos como:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reactores de lixiviación.</li> <li>○ Tanques de precipitación.</li> <li>○ Filtros y sistemas de filtración.</li> <li>○ Sistemas de extracción por solventes.</li> <li>○ Sistemas de Electrowinning.</li> <li>○ Sistemas de cristalización.</li> <li>○ Bombas de transferencia de líquidos y pulpa.</li> <li>○ Sistemas de control de pH y Redox.</li> </ul> </li> <li>• Adicionalmente se deben considerar equipamientos de prevención, seguridad y reciclado de residuos incluyendo:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sistemas de tratamiento de efluentes.</li> <li>○ Sistemas de ventilación y extracción de gases.</li> <li>○ Sistemas de protección contra derrames y fugas.</li> </ul> </li> <li>• Automatización y Digitalización: optimización del proceso con tecnologías avanzadas para mejorar eficiencia y trazabilidad.</li> <li>• Cumplimiento Normativo: adaptación a regulaciones ambientales y de seguridad en la UE y ámbito nacional.</li> </ul>
<p><b>2. Modelo de negocio</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresas con experiencia en sectores afines interesadas en expandir su gama de productos y mercado.</li> </ul> <p><b>Modelos de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de equipos.</li> <li>• Servicios de instalación y mantenimiento de líneas de producción.</li> <li>• Consultoría técnica para optimización de procesos hidrometalúrgicos.</li> <li>• Desarrollo de soluciones personalizadas según las necesidades del cliente.</li> <li>• Contratos a largo plazo con recicladores y refinadores de metales.</li> </ul>



OP12: Diseño y fabricación de líneas de procesamiento de <i>black mass</i> por hidrometalurgia	
<b>3. Mercado objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industria del reciclaje de baterías.</li> <li>• Refinerías de metales, interesadas en equipos de procesamiento de materiales recuperados de baterías.</li> <li>• Fabricantes de baterías y cátodos, que pueden integrar estos procesos en sus operaciones.</li> </ul>
<b>4. Capacidades requeridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en sectores industriales afines, como minería, química y reciclaje de metales.</li> <li>• Conocimiento avanzado sobre la estructura de baterías (<i>battery packs</i>), incluyendo materiales, estructura mecánica y riesgos de seguridad (eléctricos, químicos, emisiones, inflamabilidad, explosividad, etc.).</li> <li>• Capacidad de diseñar y fabricar equipos industriales complejos, asegurando su eficiencia y seguridad.</li> <li>• Dominio de los procesos químicos de hidrometalurgia, incluyendo lixiviación, precipitación y extracción de metales.</li> </ul>
<b>5. Infraestructura y equipos necesarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalaciones industriales con capacidad de fabricación y almacenamiento de equipos.</li> <li>• Planta de prueba y desarrollo de productos, con las condiciones de seguridad adecuadas.</li> <li>• Sistemas de monitoreo y control de calidad, para garantizar la eficiencia de los procesos hidrometalúrgicos.</li> <li>• Infraestructura de manejo de químicos y tratamiento de residuos, asegurando el cumplimiento normativo.</li> </ul>
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia operativa y escalabilidad: soluciones adaptables a distintos volúmenes de producción y necesidades específicas del cliente.</li> <li>• Alianzas estratégicas con recicladores y fabricantes de baterías: creación de una red estable de demanda y suministro de equipos.</li> </ul>



OP13: Planta de procesado de <i>black mass</i> para recuperación de materiales	
<p><b>1. Descripción</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesado de <i>black mass</i>: recuperación de metales valiosos (litio, cobalto, níquel, manganeso) mediante hidrometalurgia para su reutilización en nuevas baterías u otras aplicaciones industriales. Etapas de proceso a considerar:</li> <li>• Recepción y Manejo: tolvas y sistemas de transporte cerrados para mover la <i>black mass</i>, con control de polvo para evitar inflamabilidad y toxicidad.</li> <li>• Lixiviación Ácida: disolución de metales en tanques agitados con ácido sulfúrico o clorhídrico y agentes reductores.</li> <li>• Filtración y Separación: eliminación de residuos sólidos mediante filtros prensa o centrífugas, con lavado y filtrado de precipitados metálicos.</li> <li>• Purificación de Soluciones: extracción por solventes y tanques de precipitación para concentrar metales como cobalto o níquel.</li> <li>• Recuperación de Metales: celdas de <i>electrowinning</i> para metales puros (cobalto, níquel, cobre); cristalización para compuestos de litio (carbonato o hidróxido).</li> <li>• Tratamiento de Residuos: neutralización de residuos ácidos, tratamiento de aguas residuales y gestión de lodos mediante filtros prensa.</li> <li>• Seguridad y Monitorización: sensores de gases, ventilación controlada, sistemas contra incendios y control de derrames.</li> <li>• Automatización y Digitalización: optimización del proceso con tecnologías avanzadas para mejorar eficiencia y trazabilidad.</li> <li>• Cumplimiento Normativo: adaptación a regulaciones ambientales y de seguridad en la UE y ámbito nacional.</li> </ul>



OP13: Planta de procesado de <i>black mass</i> para recuperación de materiales	
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupos industriales con capacidad de inversión y experiencia previa en refinado de materiales, interesadas en expandir mercado.</li> </ul> <p><b>Modelos de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de materiales recuperados (cobalto, níquel, litio) a fabricantes de CAM (<i>Cathode Active Materials</i>) y otros sectores industriales.</li> <li>• Tarifas por procesamiento de <i>black mass</i>, cobrando a proveedores por la recuperación de metales.</li> <li>• Consultoría en optimización de procesos hidrometalúrgicos y normativas ambientales.</li> <li>• Alianzas estratégicas y contratos a largo plazo con fabricantes de baterías y productores de materias primas.</li> </ul>
<b>3. Punto de partida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productores de <i>black mass</i> y/o <i>brokers</i> para asegurar el suministro de <i>black mass</i> con la continuidad, calidad y precio más adecuados.</li> <li>• <i>Marketplaces</i> de materiales reciclados, para diversificar las fuentes de suministro y optimizar costos.</li> <li>• Empresas de reciclaje y desmantelamiento de baterías, que puedan proporcionar material en diferentes etapas de pretratamiento.</li> </ul>
<b>4. Mercado objetivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes de materias primas para baterías</li> <li>• Productores de otras materias primas que puedan integrar los metales reciclados en su cadena de valor.</li> <li>• OEMs y otras empresas de la cadena de valor de la movilidad eléctrica interesadas en asegurar el suministro sostenible de metales críticos.</li> </ul>



OP13: Planta de procesamiento de <i>black mass</i> para recuperación de materiales	
5. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en sectores afines, especialmente en reciclaje, minería y refinado de metales.</li> <li>• Conocimiento acerca de la estructura básica de una batería (<i>battery pack</i>), sus materiales, estructura dimensional y mecánica, condicionantes de seguridad (eléctricos, químicos, emisiones, inflamabilidad, explosividad, etc.).</li> <li>• Conocimiento acerca de todos los procesos implicados en la línea.</li> <li>• Conocimiento profundo y actualizado de las normativas de seguridad y normativas aplicables.</li> </ul>
6. Infraestructura o equipamiento necesario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran instalación industrial, con capacidad para el tratamiento químico de materiales y almacenamiento seguro de residuos.</li> <li>• Equipos de lixiviación, filtración, extracción por solventes y <i>electrowinning</i> para la recuperación de metales.</li> <li>• Sistemas de control de calidad y análisis de metales, asegurando la composición óptima de los productos obtenidos.</li> <li>• Infraestructura para la gestión de residuos y aguas residuales, cumpliendo con normativas ambientales.</li> </ul>
7. Ventajas competitivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia operativa y escalabilidad: procesos avanzados que permiten aumentar la capacidad de producción sin comprometer la calidad.</li> <li>• Reducción de costos para fabricantes: alternativa más sostenible y rentable frente a la extracción minera de metales.</li> <li>• Integración con la industria de baterías: creación de sinergias con fabricantes y recicladores para cerrar el ciclo de vida de los materiales.</li> </ul>



OP14: Producción de CAM procedente de reciclado	
1. Descripción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de CAM (<i>Cathode Active Materials</i>) a partir de metales reciclados, típicamente óxidos de NMC.</li> <li>• Propuesta de valor: producción de materiales ofreciendo un rendimiento igual o superior al de los materiales vírgenes, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> y costos típicamente en un 70% y 20%, contribuyendo a una cadena de suministro más sostenible y reduciendo la dependencia de materias primas vírgenes.</li> </ul>
2. Modelo de negocio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupos industriales con capacidad de inversión y experiencia previa en refinado de materiales y/o síntesis de materiales inorgánicos, interesadas en expandir mercado.</li> </ul> <p><b>Modelos de Monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Venta de CAM reciclado a fabricantes de baterías y celdas.</li> <li>• Servicios de formulación personalizada, adaptando el producto a necesidades específicas de cada cliente.</li> <li>• Colaboraciones con fabricantes de baterías para el desarrollo de soluciones con alto contenido de material reciclado.</li> </ul>
3. Punto de partida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refinadores de <i>black mass</i> y/o <i>brokers</i> para asegurar el suministro de precursores con la continuidad, calidad y precio más adecuados.</li> <li>• Empresas de reciclaje de baterías, que pueden proporcionar los metales críticos necesarios para la fabricación de CAM.</li> </ul>
4. Mercado objetivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes de CAM interesados en externalizar el suministro de material 100% reciclado para ofrecer a sus clientes - fabricantes de celdas- composiciones conteniendo porcentajes de material reciclado acorde con los requerimientos normativos de la Regulación Europea de Baterías.</li> <li>• Fabricantes de celdas interesados en combinar material reciclado y material virgen para producir formulaciones catódicas propias conteniendo porcentajes de material reciclado acorde con los requerimientos normativos de la Regulación Europea de Baterías.</li> </ul>



OP14: Producción de CAM procedente de reciclado	
5. Capacidades requeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiencia en sectores afines, como el refinado de metales y la síntesis de materiales inorgánicos.</li> <li>• Conocimiento acerca de la estructura básica de una batería a nivel de celda, sus materiales, propiedades e impacto en las prestaciones del producto final.</li> <li>• Conocimiento acerca de procesos de fabricación de materias elaboradas de composición inorgánica.</li> <li>• Conocimiento de la normativa de la Regulación Europea de Baterías.</li> </ul>
6. Infraestructura o equipamiento necesarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación industrial de síntesis inorgánica, con capacidad para la manipulación segura de metales reciclados.</li> <li>• Sistemas avanzados de monitoreo y control de calidad, asegurando la uniformidad y rendimiento del material producido.</li> <li>• Infraestructura para el tratamiento de residuos y emisiones, garantizando la sostenibilidad del proceso.</li> <li>• Laboratorios de I+D, para la mejora continua de los materiales y formulaciones.</li> </ul>
7. Ventajas competitivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de costos y emisiones: Material reciclado con menor huella de carbono y menor dependencia de minería de metales vírgenes.</li> <li>• Cumplimiento normativo y sostenibilidad: Responde a la Regulación Europea de Baterías y a la creciente demanda de materiales reciclados en la cadena de suministro.</li> <li>• Alta demanda en la industria de baterías: Aumento de los requisitos de contenido reciclado en baterías nuevas.</li> <li>• Innovación en materiales: Posibilidad de desarrollar formulaciones optimizadas con rendimiento superior al de materiales vírgenes.</li> <li>• Escalabilidad y adaptación a distintos mercados: Integración flexible en diversas aplicaciones industriales.</li> </ul>

### 3.9 ÁMBITO IX: Componentes Inertes

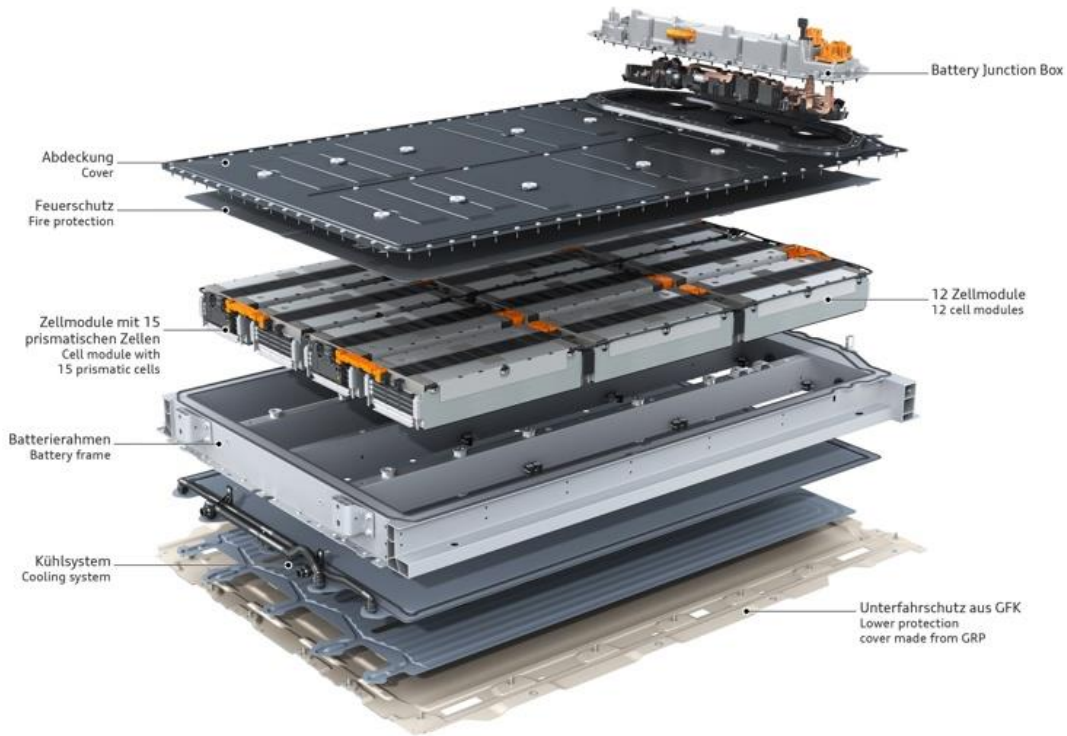
La gestión de los componentes inertes de un *battery pack* desempeña un papel importante en la economía circular de las baterías, aunque no necesariamente constituye un nicho de negocio *per se*. Elementos como el *Battery Management System* (BMS), barras colectoras (*busbars*), cofres de batería, carcasas, piezas plásticas, conducciones de fluido de refrigeración y materiales de interfaz térmica (TIM) son esenciales para la seguridad y funcionalidad de la batería. Su recuperación tiene lugar durante los procesos de desensamblado o de las baterías durante operaciones de mantenimiento, reparación o sobre todo desensamblaje total o parcial previo al proceso de reciclaje.

#### 3.9.1 Reto

En la práctica, las empresas del sector priorizan la recuperación de metales y otros materiales activos críticos de la batería, mientras que los componentes inertes se separan y se derivan a industrias especializadas en su tratamiento. Esto se debe a varias razones:

1. **Menor valor económico:** menor valor de reventa, lo que hace menos atractivo su procesamiento exclusivo.
2. **Procesos existentes en otras industrias:** muchas de las piezas inertes pueden ser recicladas dentro de sectores industriales tradicionales, como el reciclaje de plásticos o metales, sin necesidad de crear un sistema específico para los componentes de baterías.
3. **Complejidad en la separación:** estos materiales suelen estar integrados en módulos de batería, lo que dificulta su extracción y hace más eficiente su recuperación dentro de plantas que procesan el paquete completo.

Por estas razones, los desensambladores o recicladores de baterías clasifican los inertes y típicamente los canalizan hacia industrias especializadas ya establecidas. Aunque no existe un mercado exclusivo para su reciclaje, su adecuada gestión sigue siendo fundamental para mejorar la sostenibilidad del proceso, optimizar el uso de materiales y contribuir a la rentabilidad de la economía circular de las baterías.



*Figura 19: Batería del Audi Q6 e-tron mostrando algunos de los componentes inertes que lo forman  
(Fuente: AUDI)*

### 3.9.2 Oportunidades identificadas

Los componentes inertes y estructurales de las baterías deben ser gestionados adecuadamente para mayor eficiencia del proceso global de reciclaje de las baterías, si bien no se visualiza un nicho de oportunidad específico para ello, pudiendo canalizarse este tipo de residuos hacia procesadores generalistas ya establecidos.



### 3.10 ÁMBITO X: Digitalización y trazabilidad

La digitalización desempeña un papel esencial en la implementación de modelos de negocio circulares y, en particular el pasaporte digital de las baterías será un instrumento clave para que los diferentes actores implicados en la cadena de valor de las baterías puedan contribuir a los objetivos de sostenibilidad propuestos por la Unión Europea. Además de proporcionar transparencia en cuanto a prácticas socialmente responsables (respeto de derechos humanos, de derechos laborales, etc.) y medioambientalmente sostenibles (reducción de la huella de carbono, empleo de materiales reciclados y materiales renovables, etc.), el pasaporte permitirá trazar información, en un sentido amplio, a lo largo de todo el ciclo de vida de las baterías. Entre otros aspectos, permitirá:

- Identificar a distintos agentes intervinientes en la cadena de suministro y fabricación, así como en las fases de uso y final de vida útil (reparadores, reconfiguradores, recicladores...).
- Registrar información sobre la composición material de las celdas, el contenido de material reciclado, componentes de los módulos y el battery pack, contactos para obtener piezas de recambio, etc.
- Recoger datos durante la fase de utilización de la batería: número de ciclos de carga y descarga, condiciones ambientales de funcionamiento, estado de carga, capacidad remanente...
- Registrar eventos negativos sufridos a lo largo de la vida de la batería como sobrecalentamiento, daños físicos, etc.
- Registrar información de operaciones de reparación, remanufactura, reconfiguración... y, cuando corresponda según las modificaciones realizadas, emitir un nuevo pasaporte ligado al anterior.

#### 3.10.1 Retos

Puesto que la información recogida en el pasaporte provendrá de múltiples actores, uno de los principales retos que debe abordarse es la interoperabilidad entre los datos y sistemas utilizados por cada uno de ellos. Cada actor debe mantener el control sobre sus datos y utilizar estándares abiertos para compartirlos. Además, la implementación del pasaporte digital no debe depender de fabricantes o tecnologías específicas, para facilitar que las empresas (sobre todo las pequeñas y medianas) puedan desarrollar o adquirir la solución más adecuada a sus necesidades y recursos económicos.

Otro importante reto es garantizar la integridad y calidad de los datos, estableciendo reglas para su validación de forma que sean conformes a los requerimientos de la Regulación. Adicionalmente, teniendo en cuenta que algunos datos serán sensibles, deben establecerse mecanismos de control de accesos para que determinada información restringida sólo sea visible por los actores con interés



legítimo que establezca la Regulación. Igualmente, también debe garantizarse la fiabilidad y la seguridad en las transacciones de datos.

Aunque ya se están desarrollando numerosas iniciativas de pasaportes digitales, todavía se requiere un gran trabajo de estandarización que facilite la implementación de sistemas interoperables. En este sentido, la Comisión Europea envió en 2023 un borrador de requerimiento de estandarización a las organizaciones europeas de estandarización CEN y CENELEC para desarrollar estándares técnicos armonizados necesarios para crear, operar y mantener sistemas de pasaportes digitales de productos.

### **El Battery Passport como herramienta de trazabilidad**

En lo que respecta al pasaporte específico de las baterías, están pendientes de publicarse Actos de Implementación que complementen el Reglamento, concretando los datos que deben ser registrados en el pasaporte y su formato, así como los derechos de acceso a distintas categorías de datos por parte de diferentes actores.

El Plan de Acción de Economía Circular de la CE (Comisión Europea) de 2020 ya proponía la implementación de pasaportes digitales de productos conteniendo información relevante relacionada con su sostenibilidad y circularidad, con el objetivo de fomentar prácticas más respetuosas con el medioambiente, impulsar la transición a una economía circular y facilitar a distintos agentes de la cadena de valor desempeñar sus actividades con mayor eficiencia desde el punto de vista medioambiental. El Reglamento de las baterías y sus residuos de 2023 es el primero que ha incluido la obligatoriedad de disponer de un pasaporte digital de producto a nivel europeo abarcando el ciclo de vida completo de la batería: a partir de 2027, todas las baterías introducidas en el mercado o puestas en servicio por primera vez en la Unión Europea deberán tener asociado un identificador único y un pasaporte digital. Este primer pasaporte servirá como experiencia piloto para los pasaportes de producto que se introducirán posteriormente en otros sectores industriales para facilitar la transición a una economía circular, tal como establece el Reglamento ESPR sobre Ecodiseño de Productos Sostenibles de 2024.

Por lo tanto, la oportunidad de desarrollar sistemas de pasaportes digitales va más allá del sector específico de las baterías. Aunque cada sector industrial en el que se introduzca el pasaporte contará con su ontología específica, los aspectos técnicos de diseño serán comunes y armonizados para todos los pasaportes digitales de productos, siendo interoperables entre ellos.

El pasaporte digital afectará, en mayor o menor medida, a los distintos actores de las complejas cadenas de valor de los productos. Algunos de ellos deberán contribuir con información y otros simplemente la consumirán. A modo ejemplo, los fabricantes del *battery pack* deben obtener información sobre la huella de carbono de las distintas etapas del ciclo de vida de la batería, para lo que requerirán datos de la huella de carbono de actividades realizadas por otros actores (como la extracción y refinado de materias



primas, la fabricación de precursores y materiales activos, la fabricación de electrodos, etc.) que deberán agregar a los de sus propias actividades para calcular la huella de carbono total de la batería. También incluirán, entre otra información, los esquemas de diseño de la batería, datos sobre sus componentes, instrucciones de desmontaje... que será consumida por otros actores como reparadores, reconfiguradores de baterías, etc. para realizar su trabajo de forma más eficiente y segura. Después de las etapas de reparación, remanufactura, reconfiguración..., los cambios realizados, los nuevos parámetros de rendimiento y durabilidad, etc. deberán quedar registrados en el pasaporte y, en su caso, deberá incluso emitirse uno nuevo ligado al anterior.

### 3.10.2 Oportunidades identificadas

Los ejemplos anteriores son solo ilustrativos de la importancia de disponer, por parte de diversos actores de la cadena de valor, de un sistema adaptado a sus necesidades para cumplir con sus obligaciones con relación a la información de trazabilidad que debe recoger el pasaporte de las baterías, constituyendo una oportunidad de negocio para empresas desarrolladoras de software en el contexto de la circularidad de las baterías como producto:

OP15: Desarrollo de sistemas de pasaporte digital de productos	
<p><b>1. Descripción</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro digital de información relacionada con todo el ciclo de vida la batería. Los diferentes actores de la cadena de valor deben compartir la información relevante que corresponde a sus actividades conforme a las exigencias de la Regulación de baterías.</li> </ul> <p><b>Características clave:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integración con sistemas de gestión de información (ERP, MES, PLM, etc.), garantizando la trazabilidad de los datos.</li> <li>• Recopilación de datos en tiempo real desde dispositivos IoT, como el BMS (Battery Management System), para monitorizar el uso y estado de la batería.</li> <li>• Gestión de acceso a la información:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Datos públicos accesibles para todos los interesados.</li> <li>○ Información restringida a actores con interés legítimo, organismos notificados y autoridades.</li> </ul> </li> <li>• Garantía de seguridad y privacidad, con autenticación, integridad y fiabilidad de datos.</li> </ul>



OP15: Desarrollo de sistemas de pasaporte digital de productos	
<b>2. Modelo de negocio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciativas de emprendimiento individual con experiencia en <i>software</i> y tecnologías digitales.</li> <li>• Empresas especializadas en desarrollo de <i>software</i> y gestión de datos.</li> </ul> <p><b>Modelos de monetización:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Licencias sobre la plataforma de pasaporte digital para empresas del sector.</li> <li>• Servicios de integración con sistemas empresariales (ERP, MES, PLM, etc.).</li> <li>• Desarrollo de APIs personalizadas para conectar el pasaporte digital con otros sistemas.</li> <li>• Consultoría y formación en cumplimiento normativo.</li> <li>• Mantenimiento y actualización de la plataforma, asegurando la conformidad con regulaciones futuras.</li> </ul>
<b>3. Mercado objetivo</b>	<p>Cualquier actor que tenga que contribuir con información al pasaporte digital, bien por requerimiento de la Regulación de baterías o por alguna obligación contractual con otros actores de la cadena de valor:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricantes de baterías y celdas.</li> <li>• Recicladores y gestores de residuos.</li> <li>• Integradores y fabricantes de vehículos eléctricos.</li> <li>• Proveedores de <i>software</i> y sistemas de trazabilidad.</li> <li>• Autoridades regulatorias y organismos de certificación.</li> </ul>
<b>4. Capacidades requeridas</b>	<p>Conocimiento de tecnologías de la información y las comunicaciones, incluyendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontologías del ámbito de las baterías.</li> <li>• Diseño de bases de datos.</li> <li>• Estándares abiertos de intercambio de datos.</li> <li>• Arquitectura de sistemas.</li> <li>• Protocolos de comunicación entre diferentes sistemas.</li> <li>• Seguridad en las comunicaciones y protección de datos.</li> <li>• Lenguajes de programación para el desarrollo de APIs y servicios.</li> <li>• Diseño y desarrollo de interfaces de usuario.</li> </ul>



OP15: Desarrollo de sistemas de pasaporte digital de productos	
<b>5. Infraestructura o equipamiento necesario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamiento informático de alto rendimiento para almacenamiento y procesamiento de datos.</li> <li>• Entornos de desarrollo de software, con herramientas especializadas para bases de datos, APIs y seguridad digital.</li> <li>• Infraestructura de servidores y servicios en la nube, para garantizar escalabilidad y accesibilidad global.</li> <li>• Sistemas de monitoreo y análisis de datos, para asegurar la calidad y consistencia de la información almacenada.</li> </ul>
<b>6. Ventajas competitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento normativo y adaptación a regulaciones futuras, asegurando que las empresas usuarias cumplan con los requisitos de la Regulación de Baterías.</li> <li>• Automatización de la trazabilidad de baterías, reduciendo costos y optimizando la gestión de datos en toda la cadena de valor.</li> <li>• Seguridad y confianza en la información almacenada, garantizando la autenticidad de los datos registrados.</li> <li>• Interoperabilidad con múltiples sistemas empresariales, permitiendo la integración fluida con plataformas de gestión existentes.</li> <li>• Modelo escalable y adaptable a otros sectores industriales que requieran trazabilidad de productos.</li> </ul>



## 4 Estrategias empresariales integradas: creando sinergias en la economía circular de las baterías

A lo largo de este informe se han identificado diversas oportunidades de negocio dentro de la economía circular de las baterías, abordando cada etapa de la cadena de valor de manera específica. Estas oportunidades han sido recopiladas en tablas al final de cada capítulo, proporcionando un desglose detallado de iniciativas concretas que pueden dar lugar a modelos de negocio viables.

Sin embargo, más allá de la identificación de oportunidades individuales, es igualmente relevante considerar la viabilidad de proyectos empresariales con un enfoque más integral, maximizando interacciones y sinergias entre las diferentes oportunidades individuales. La combinación de distintos eslabones de la cadena de valor dentro de una misma iniciativa puede generar sinergias operativas y aportar un mayor valor añadido a clientes e inversores. Este enfoque vertical permite optimizar procesos, reducir costos y mejorar la sostenibilidad, aunque también implica desafíos como mayores necesidades de inversión y una gestión operativa más compleja.

Oportunidades individuales	Transversalidades								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
OP1: Servicios de ecodiseño de baterías									
OP2: Servicios de diagnóstico de baterías	X	X	X	X	X				X
OP3: Servicios logísticos de baterías de fin de vida	X								X
OP4: Servicios de comercialización de baterías de fin de vida ("marketplace")	X								X
OP5: Software para la gestión de baterías de fin de vida ("marketplace")	X							X	X
OP6: Equipos y procesos para el desensamblaje automatizado de baterías									
OP7: Servicios de desensamblaje de baterías		X	X	X					
OP8: Servicios de reparación de baterías			X						
OP9: Diseño y reconfiguración de baterías para aplicaciones de segunda vida.				X					
OP10: Maquinaria y equipamiento para producción de "black mass"									
OP11: Planta de producción de "black mass"					X	X	X		X
OP12: Líneas de procesado de "black mass" por hidrometalurgia									
OP13: Planta de procesado de "black mass" para recuperación de materiales						X	X		X
OP14: Producción de CAM 100% procedente de reciclado							X		X
OP15: Servicios de digitalización para el Battery Passport								X	

Figura 20: Oportunidades individuales identificadas en este documento (OP1...OP15) vs. posibles transversalidades (T1...T9), como combinación vertical de varias oportunidades individuales

En la anterior tabla se agrupan las oportunidades de negocio individuales identificadas en este documento. Adicionalmente se identifican a título orientativo algunas conexiones transversales que pueden fortalecer la coherencia de las iniciativas empresariales y consolidar modelos de negocio más



robustos dentro del sector. Cada iniciativa transversal vertical propuesta comprende varias oportunidades individuales horizontales marcadas con una “x”.

A continuación, se detallan algunos ejemplos clave de combinaciones estratégicas extraídas de la tabla anterior. Por ejemplo, la integración del diagnóstico y desensamblaje (T3) permite optimizar la gestión de baterías al final de su primera vida, facilitando la reutilización a nivel de módulo o celda. Esto posibilita aprovechar aquellos componentes no dañados y con un estado de salud adecuado para una segunda vida, mientras que solo se reciclan los que no cumplen los criterios de seguridad y salud necesarios. Por otro lado, las plataformas digitales, como los *marketplaces* y la digitalización (T9), mejoran la trazabilidad y la eficiencia en la comercialización de baterías y materiales reciclados. Además, se ha identificado una progresión natural en la cadena de valor del reciclaje, que abarca desde la producción de *black mass* hasta su refinado y reaprovechamiento en la fabricación de nuevos materiales para baterías (T8). Finalmente, el enfoque de RaaS (T10), propio de grandes empresas, integra toda la cadena de valor del reciclaje, desde la recogida y diagnóstico hasta el reprocesado y reutilización de materiales.

## 4.1 Análisis

El conjunto de oportunidades de negocio identificadas en la economía circular de las baterías puede agruparse en cuatro grandes bloques, según su posición en la cadena de valor y su nivel de integración con otras actividades.

### Bloque I: Diagnóstico, logística y *marketplace*

Este grupo comprende las actividades encargadas de identificar, gestionar y comercializar baterías al final de su primera vida útil. Si bien cada una de estas iniciativas puede desarrollarse de manera independiente, la incorporación de servicios de diagnóstico es un factor clave, ya que permite determinar el estado de salud de las baterías y su posible destino en la cadena circular. La integración del diagnóstico en cualquier modelo de negocio dentro de este ámbito resulta altamente recomendable, ya que aporta eficiencia y precisión en la clasificación de las baterías, optimizando su aprovechamiento.

### Bloque II: Desensamblaje, reparación y reconfiguración

Este bloque incluye las operaciones orientadas a extender la vida útil de las baterías, ya sea en su aplicación original o en nuevos usos. En este contexto, el desensamblaje juega un papel similar al diagnóstico en el bloque anterior, ya que es un proceso fundamental que facilita la reparación y reutilización de baterías.

Disponer de capacidades tanto de diagnóstico como de desensamblaje otorga una ventaja competitiva significativa, ya que permite gestionar con mayor eficiencia la reparación y reconfiguración de las baterías.



Sin embargo, también existen oportunidades para enfoques especializados, donde el modelo de negocio se centra en una actividad específica con un valor diferencial dentro de la cadena de valor.

### Bloque III: Reciclaje y producción de *black mass*

En la actualidad, la mayoría de las empresas de reciclaje de baterías de tamaño pequeño y mediano se centran en la producción de *black mass*, el producto intermedio del reciclaje. Sin embargo, a nivel internacional, algunos grandes actores han desarrollado modelos de negocio con un alto grado de integración vertical, combinando la producción y refino de *black mass* con actividades como diagnóstico, desensamblaje e incluso la producción de materiales reciclados finales.

En el nivel más alto de integración se encuentra el modelo *Recycling as a Service* (RaaS), que abarca toda la cadena de valor circular, desde la evaluación del estado de salud de la batería hasta su reparación, reutilización y reciclaje final. Aunque este modelo está dominado por grandes corporaciones, existen múltiples combinaciones intermedias de productos y servicios que pueden representar oportunidades de negocio viables, sin necesidad de alcanzar el máximo nivel de integración. Estas combinaciones permiten ofrecer soluciones más completas y con un mayor valor añadido para el cliente final.

### Otras oportunidades

La digitalización, entendida como la implementación de herramientas para la trazabilidad de baterías, componentes y materiales a lo largo de su ciclo de vida, representa una oportunidad de negocio independiente. Sin embargo, también es una funcionalidad que puede —y en muchos casos, debe— integrarse en cualquier iniciativa dentro de la economía circular de las baterías. La creciente importancia de la trazabilidad se ve impulsada por los requisitos de la Regulación Europea de Baterías, que exige mayor transparencia y control sobre los flujos de materiales.

Por otro lado, aquellas iniciativas que pueden operar de manera autónoma sin necesidad de alinearse con otros segmentos del mercado son las relacionadas con el diseño, desarrollo, fabricación y comercialización de maquinaria y equipamiento especializado para el desensamblaje y tratamiento de baterías. Estas soluciones aportan un valor añadido significativo a la industria y pueden desarrollarse como oportunidades de negocio independientes dentro del ecosistema de la economía circular de las baterías.

## 5 Ejemplos de iniciativas existentes

Este capítulo presenta una selección de iniciativas empresariales que han materializado oportunidades de negocio alineadas con las descritas en este informe. En su mayoría, se trata de start-ups y empresas de nueva creación, aunque también se incluyen casos de grandes corporaciones con integración vertical en toda la cadena de valor de la economía circular de las baterías.

La lista no pretende ser exhaustiva, dado que el ecosistema empresarial en este ámbito está en constante evolución. Además, muchas iniciativas combinan varias de las oportunidades identificadas en este informe, alineándose con las transversalidades mencionadas previamente.

A continuación, se presenta esta muestra de iniciativas organizadas según los diferentes ámbitos descritos en el informe. En los casos en que una empresa abarca múltiples oportunidades de negocio, se ha categorizado bajo el ámbito que mejor representa su actividad principal. Para cada iniciativa, se incluye la denominación comercial, enlace a su página web y un lema representativo de su actividad.

[Nota – la inclusión de una empresa en este listado no implica ningún juicio de valor por parte de los autores del informe sobre la calidad, adecuación o utilidad de sus soluciones propuestas]

### ÁMBITO I: Ecodiseño de baterías

- No se identifican iniciativas específicas.

### ÁMBITO II: Análisis de salud y diagnóstico

- AVILOO: <https://aviloo.com/> *“Within a few years, AVILOO has become the global innovation leader in TESTING, MONITORING and ANALYSIS of batteries in all application areas - automotive, public transport, marine, aerospace, as well as stationary, industrial, and residential applications. Together with 30 employees we provide our BATTERY SERVICES - from the private owner of an electric car to the world leader in cell manufacturing”*
- ACCURE: <https://www.accure.net/> *“Ensure exceptional performance, safety, and value with award-winning independent predictive battery analytics software built by world-class battery experts”*
- DEKRA: <https://www.dekra.es/es/test-de-bateria-para-coches-electricos/> *“El test de baterías para coches eléctricos de DEKRA y su algoritmo patentado han sido validados por la prestigiosa Universidad RWTH de Aquisgrán. La prueba es sofisticada, rápida y precisa, con la ventaja añadida de proporcionar una evaluación independiente y objetiva de la capacidad residual de la batería de estos coches eléctricos. Esto contribuye a fomentar la transparencia y la confianza en torno a las ventas de VE usados.”*



- INNER: <https://www.innertech.nl/> *“Our advanced CT/X-ray imaging technology, coupled with AI tools and our proprietary hardware/software solution, performs a thorough analysis, examining entire battery packs down to the cell level. INNER’s methodology delivers unparalleled insights, in minutes.”*

### ÁMBITO III: Baterías de fin de vida: logística y “marketplace”

- CLING SYSTEMS: <https://www.clingsystems.com/> *“The platform enabling battery circularity - By streamlining procurement and removing market frictions, Cling's circular platform helps both battery repurposers to build safe and cost effective second life energy systems, and battery recyclers to produce new recycled raw material.”*
- CIRCUNOMICS: <https://www.circunomics.com/> *“We are the Battery Matchmakers. Through predictive analytics and a B2B marketplace... we seek to extend the useful life of lithium-ion batteries beyond their initial application in electric vehicles and stationary energy storage systems.”*
- LAUNCH4: <https://launch4.io/agora/> *“Circular Marketplaces - Agora is a pioneering marketplace and auction platform that redefines the trade of goods and services, and helps building profitable circular ecosystems.”*

### ÁMBITO IV: Desensamblaje automatizado seguro

- MASMEC: <https://www.masmec.com/en/systems-for-batteries-and-hydrogen/> *“Remanufacturing line for Li-ion batteries: We provide a semi-automated line to carry out both the disassembly of battery modules to cell level, with special attention to the delicate removal of the bus bars, and the re-assembly of cells into modules suitable for second life applications. Bus bars are laser welded with the aid of a machine vision system.”*
- BOSCH REXROTH: <https://www.boschrexroth.com/es/es/industrias/produccion-de-baterias/> *“Descarga profunda automatizada de baterías. El reciclaje de baterías y el correspondiente retorno de materias primas se están convirtiendo en pilares importantes para el desarrollo de una economía circular europea. Con su kit de soluciones modulares para el diagnóstico, la descarga y el desmontaje de baterías usadas de vehículos, Bosch Rexroth posibilita la automatización de estos pasos iniciales del proceso.”*

### ÁMBITO V: Reparación

- INFINITEV: <https://infinitev.au/> *“Our team of skilled engineers uses advanced diagnostics and state-of-the-art technology to repair and restore EV batteries, helping you save money while reducing waste. We specialize in battery remanufacturing and repurposing, playing a pivotal role in enabling this transition to electrification.”*



- EV Clinic: <https://evclinic.eu/> *“Reverse Engineering, research of factory defects and 3rd party repair solutions.”*
- TERA BATTERIES: <https://terabatteries.com/> *“TERA nace con el objetivo de cubrir una necesidad muy clara en el mercado de la movilidad eléctrica: la reparación y reciclaje de baterías de VE. En TERA, reparamos, reutilizamos y reciclamos de manera eficiente las baterías de vehículos eléctricos.”*

#### ÁMBITO VI: Reconfiguración segunda vida

- BEEPLANET: <https://beeplanetfactory.com/> *“...economía circular mediante la gestión integral de baterías de automoción: recepción, diagnóstico, fabricación de sistemas de almacenamiento y gestión de energía con instalación llave en mano.”*
- VOLTR: <https://www.voltr.tech/> *“Voltr manufactures batteries that offer the same performance as new batteries (quality, capacity, durability) while considerably reducing their carbon footprint through the use of reconditioned cells. The second life is a necessary step and more value-creating than recycling. Our batteries are made from second-life cells. We reuse the cells in a new application adapted to their residual performance.”*
- REEFILLA: <https://www.refilla.com/> *“Second Life battery systems, using a cutting-edge repurposing process to extend battery life and minimize both resource consumption and environmental impact.”*

#### ÁMBITO VII: Reciclaje I: producción de “black mass”

- ACCUREC: <https://accurec.de/> *“Accurec recycles Li-ion batteries through thermal pretreatment and mechanical separation. Before this, batteries are prepared, including sorting, disassembly and discharging. Afterwards, Accurec employs thermal treatment (in rotary kiln, currently via external service) to crack and pyrolyze the organic components. The pyrolyzed battery cells are screened, crushed and classified/sorted by Accurec’s inhouse multi-step mechanical separation plant [...] The CoNi concentrate can be forwarded to pyrometallurgy and subsequent hydrometallurgy plants for final recovery of Co- and Ni-salts or -metals.”*
- NOVOLITIO: <https://novolitio.es/> *“Novolitio reciclará todo tipo de químicas de baterías basadas en el Litio. Para ello, dispondremos de una instalación en la que podamos clasificar las baterías, así como posteriormente, y después de su descarga eléctrica, someterlas a un proceso de trituración. Tras esta etapa, recuperaremos todas las fracciones valorizables en las debidas condiciones de seguridad y respeto al medioambiente.”*
- LI-CYCLE: <https://li-cycle.com/> *“Lithium-ion batteries of all formats and states of charge are processed through a mechanical process that breaks down the batteries to inert*



*materials that minimize the risk of fire. The resulting materials are separated into two main product lines: battery materials (black mass) and mixed copper/aluminum.”*

#### ÁMBITO VIII: Reciclaje II: refinado de “black mass” y producción de nuevos materiales

- DUESENFELD: <https://www.duesenfeld.com/index.html> *“Duesenfeld’s unique combination of discharging, mechanical processing and hydrometallurgy [...] The shredded material is separated into different material fractions on the basis of physical properties such as grain size, density, magnetic and electrical properties, which are further processed metallurgically. The iron, copper and aluminium fractions are fed to established recycling routes. To process the so-called Duesenfeld Black®, which contains the electrode active materials and the conductive salt, Duesenfeld has developed a hydrometallurgical process. With this patented process, the metals cobalt, lithium, nickel and manganese as well as graphite are recovered.”*
- REDWOOD MATERIALS: <https://www.redwoodmaterials.com/> *“Our integrated process involves recycling batteries at end of life, refining their critical minerals, and remanufacturing sustainable battery materials, including cathode active material, to go back into new batteries.”*
- GREEN LI-ION: <https://www.greenli-ion.com/> *“A global lithium-ion battery recycling technology provider producing modular hardware solutions that convert battery waste / spent batteries into cathode & anode material that’s ready to drop into new battery manufacturing.”*
- ELECTRAMET: <https://electramet.com/> *“An innovative and modular solution to address battery-recycling challenges. Using an electrochemical process, ElectraMet’s automated system selectively targets and removes specific metals and impurities from the leachate. This cutting-edge technology can be integrated seamlessly into existing recycling processes, offering several key advantages.”*

#### ÁMBITO IX: Componentes inertes

- No se detectan iniciativas

#### ÁMBITO X: Digitalización y trazabilidad

- LAUNCH4: <https://launch4.io/hydra/> *“Hydra is a plug-and-play platform that automates the entire product lifecycle, enabling digital twins, lifecycle management, carbon footprint tracking, and AI-powered analytics. Built for transparency and sustainability, Hydra drives profitability and competitive edge from day one.”*
- CIRCULOR: <https://circular.com/battery-passport> *“Circular’s Battery Passport digitally tracks batteries through their entire life cycle, supporting second-life uses and boosting transparency.”*



- MINESPIDER: <https://www.minespider.com/battery-passports> *“Minespider’s Battery Passport contains information about the battery, its history and each production stage, ESG metrics, carbon emissions data, and other valuable information about the battery. The Battery Passport enables securely storing and transferring this information across the battery supply chain so the battery can be efficiently reused or recycled at the end of its life.”*
- AVL: <https://www.avl.com/en/engineering/industrial-energy-engineering/energy-ecosystem/avl-digital-battery-passport> *“The AVL Digital Battery Passport combines a secure data platform with our extensive knowledge in legislation and CO2 engineering. It is designed to facilitate seamless data sharing throughout the entire battery value chain, ensuring efficient integration, tracking, analysis, and reporting of relevant battery data at every stage of its lifecycle.”*

**Otros grandes recicladores verticalmente integrados**

- FORTUM: <https://www.fortum.com/services/battery-recycling> *“Fortum Battery Recycling is closing the loop for critical battery materials. Today, in Europe, for Europe. We are the only company providing a European solution for every stage of battery life cycle, from waste collection through pre-treatment to refining.”*
- UMICORE: <https://www.umicore.com/en/about/recycling/battery-recycling-solutions/start/> *“Our unique recycling process uses a smart combination of pyro- and hydro-metallurgy. In the pyro-metallurgy stage, our robust high temperature smelting technology converts the end-of-life battery or battery production scraps into a metal alloy (containing cobalt, nickel, and copper) and a lithium-concentrate. The pure metal alloy and lithium concentrate are both further upgraded in lean hydro-metallurgic processes to recover the metals separately as high-quality battery-grade materials [...] for the production of new CAM, closing the material loop in the battery value chain.”*
- SK-TES: <https://www.sktes.com/it-services/commercial-battery-recycling> *“Advanced, proprietary battery recycling technology transforms discarded batteries into industrial grade metals at SK tes facilities around the world. Our state-of-the-art equipment, including auto-punching machines and shredders, allows us to break down batteries into high-quality black mass. By doing so, we are able to recover valuable materials such as nickel, lithium and cobalt, which can then be reused in the forward supply chain.”*

## 6 Consideraciones Finales

El análisis realizado en este informe refuerza la idea de que la economía circular de las baterías no solo responde a una necesidad ambiental y regulatoria, sino que también constituye un espacio de gran potencial para la generación de nuevas oportunidades de negocio. La transición hacia un modelo circular es inminente, impulsada por la evolución normativa, la necesidad de reducir la dependencia de materias primas críticas y la creciente presión para minimizar el impacto ambiental del sector energético. Aquellos actores que sepan anticiparse a estos cambios y adapten su estrategia podrán consolidarse en un mercado en plena transformación.

Las oportunidades identificadas permiten la participación de distintos tipos de actores, desde *startups* y emprendedores hasta grandes corporaciones con capacidad para desarrollar modelos de negocio más integrados. Estas iniciativas pueden desarrollarse de manera independiente o en combinación con otras, creando sinergias que generen un mayor valor añadido. La clave del éxito radica en la capacidad de combinar innovación, digitalización y sostenibilidad en cada propuesta de valor.

En este contexto, la trazabilidad y el diagnóstico temprano de las baterías emergen como elementos esenciales para optimizar su gestión y maximizar su aprovechamiento en la segunda vida o el reciclaje. Asimismo, la evolución del mercado indica un creciente interés por modelos de negocio que ofrezcan soluciones integradas, abarcando desde la logística y el diagnóstico hasta el reciclaje avanzado y la producción de nuevos materiales.

En definitiva, la economía circular de las baterías representa una oportunidad estratégica para reducir la dependencia de materiales críticos, mejorar la sostenibilidad del sector y fomentar la creación de empleo y riqueza en la industria energética y tecnológica. Apostar por estos modelos de negocio será clave para garantizar la competitividad a largo plazo, consolidando un ecosistema industrial más resiliente, eficiente y alineado con los objetivos de sostenibilidad globales.



# ZIRKULAR BAT<sup>+</sup> EKOSISTEMA