



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

“Análisis integral de la Cadena de Valor Circular  
de las Baterías”

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

Marzo 2024



## ZIRKULAR BAT+ EKOSISTEMA

### “Análisis integral de la Cadena de Valor Circular de las Baterías”

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

Autoras:

Dr Marta Álvarez Tirado, CIDETEC Energy Storage  
Dr Óscar Miguel Crespo, CIDETEC Energy Storage  
Izaskun Aizpurua, CIDETEC Energy Storage  
Sonia Calzada, CIDETEC Inteligencia Estratégica

Versión Marzo 2024





## Índice de contenido

<b>1</b>	<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Glosario.....</b>	<b>8</b>
2.1	Categorías de Baterías .....	8
2.2	Terminología Relacionada con las Baterías .....	9
2.3	Actores relevantes .....	11
2.4	Logística de las baterías a lo largo de la cadena de valor .....	13
2.5	Terminología Técnica para el Diagnóstico o Estado de Salud de las Baterías .....	15
<b>3</b>	<b>Introducción: Políticas Europeas y Contexto Legislativo.....</b>	<b>17</b>
3.1	Una demanda de baterías en aumento .....	17
3.2	Marco Regulatorio en Europa.....	19
3.3	<b>Batteries Regulation: Implicaciones circularidad y sostenibilidad. ....</b>	<b>23</b>
	Materias primas y reciclado .....	24
	Materiales y fabricación avanzados .....	25
	Usos y aplicaciones finales .....	25
3.4	<b>Battery Passport: responsabilidades subsidiarias. Pasaporte digital obligatorio para las baterías .....</b>	<b>27</b>
3.5	<b>Conclusiones: la sostenibilidad de las baterías, prioridad europea de primer nivel</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Cadena de Valor Circular de las Baterías .....</b>	<b>30</b>
4.1	Desarrollo de la cadena de valor.....	34
<b>5</b>	<b>Análisis de los componentes de la Cadena de Valor Circular de las Baterías .....</b>	<b>37</b>



<b>5.1</b>	<b>Ecodiseño</b> .....	<b>37</b>
5.1.1	Diseño para la Circularidad y Normativas .....	38
5.1.2	Impacto ambiental: Análisis del ciclo de vida ( <i>Life Cycle Analysis</i> ) .....	40
5.1.3	Tendencias en el ecodiseño hacia una cadena más sostenible .....	44
<b>5.2</b>	<b>Trazabilidad</b> .....	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Logística y gestión</b> .....	<b>48</b>
<b>5.4</b>	<b>Diagnóstico durante la vida útil</b> .....	<b>49</b>
<b>5.5</b>	<b>Fin de la primera vida</b> .....	<b>52</b>
<b>5.6</b>	<b>Reutilización (<i>reuse/ repurposing</i>) en segunda vida</b> .....	<b>55</b>
5.6.1	Diagnóstico EoL .....	56
5.6.2	Reutilización directa .....	59
<b>5.7</b>	<b>Remanufactura (<i>remanufacturing</i>)</b> .....	<b>60</b>
5.7.1	Logística Inversa: clasificación ( <i>sorting</i> ) y desmantelado ( <i>dismantling</i> ) .....	60
5.7.2	Reconfiguración ( <i>re-assembly</i> ) .....	63
5.7.3	Uso en segunda vida .....	63
<b>5.8</b>	<b>Reciclaje (<i>recycling</i>)</b> .....	<b>66</b>
5.8.1	Pretratamientos térmicos .....	69
5.8.2	Tratamientos mecánicos .....	71
5.8.3	Recuperación temprana de litio .....	73
5.8.4	Hidrometalurgia .....	75
5.8.5	Pirometalurgia .....	78
5.8.6	Últimas tendencias en el mercado sobre el reciclaje de baterías .....	80
<b>6</b>	<b>Consideraciones Finales</b> .....	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>Documentación Relevante</b> .....	<b>90</b>



**ANEXO I**

Baterías en vehículos eléctricos, formatos de celdas y principios de funcionamiento

*Página 98*

**ANEXO II**

Obligaciones de los actores de la Cadena de Valor de las Baterías según la EU Batteries Regulation

*Página 103*

**ANEXO III**

Ejemplo práctico sobre criterios e indicadores de circularidad durante el ecodiseño

*Página 109*

**ANEXO IV**

Mapa de empresas Europeas directamente relacionadas con baterías de segunda vida

*Página 112*

## 1 Resumen Ejecutivo

El mundo se dirige hacia un escenario de creciente consumo de recursos naturales y consiguiente deterioro del medio ambiente. De no implantarse las medidas apropiadas, la calidad de vida de las generaciones futuras se verá seriamente comprometida.

**El futuro debe ser sostenible.** Un elemento clave en esa transformación es la transición hacia las energías renovables, lo que acarreará una progresiva electrificación de la economía, sobre todo, los sectores con más emisiones de gases con efecto invernadero: el transporte y la energía. En ese proceso **las baterías tendrán un papel fundamental** de cara posibilitar la gestión y uso de la energía eléctrica en multitud de aplicaciones portátiles, de movilidad y transporte, así como de almacenamiento estacionario.

La **tendencia hacia la electrificación es global**, y abarca diversos sectores ligados al transporte y al almacenamiento estacionario. La demanda mundial de baterías presenta una tasa acumulada de crecimiento acumulado superior al 30% expresados en energía instalada. Con estas perspectivas de crecimiento en cuanto a su fabricación y utilización, se espera a partir de 2025-2030 un aumento exponencial en la cantidad de baterías que llegan al final de su vida útil.

Con el fin de **minimizar su huella ecológica con criterios de sostenibilidad**, resulta indispensable articular un **ecosistema circular** alrededor de las baterías, prolongando su vida en servicio -mediante conceptos como el de **segundos usos-**, y asegurando su **reciclaje** al final de su vida útil con el retorno de materias primas al sistema.

En este sentido, la Comisión Europea defiende una firme política en favor de la sostenibilidad de las baterías a través de la esperada, y recientemente entrada en vigor, Regulación de Baterías Europea (*EU Batteries Regulation*), sustituyendo a la anterior normativa de baterías de 2006. Una de las componentes estrella de esta nueva regulación es el denominado Pasaporte de Baterías (*Battery Passport*), cuya implantación se espera a partir de 2026. Para cumplir con los requisitos que de allí se derivan, **resulta necesario desarrollar e implementar una cadena de valor circular de las baterías desde el ecodiseño y la digitalización**, con el fin de maximizar su utilización a lo largo de su vida útil, así como de implementar procesos de reciclaje y reutilización.

El despliegue de este escenario es un reto global, pero también un **escenario de oportunidad** desde el punto de vista del ámbito local. Gipuzkoa disfruta de un rico contexto industrial y tecnológico alrededor de las energías renovables, el almacenamiento de energía y el reciclaje. **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.**



## ZIRKULAR BAT+, Ecosistema circular de las baterías de Gipuzkoa

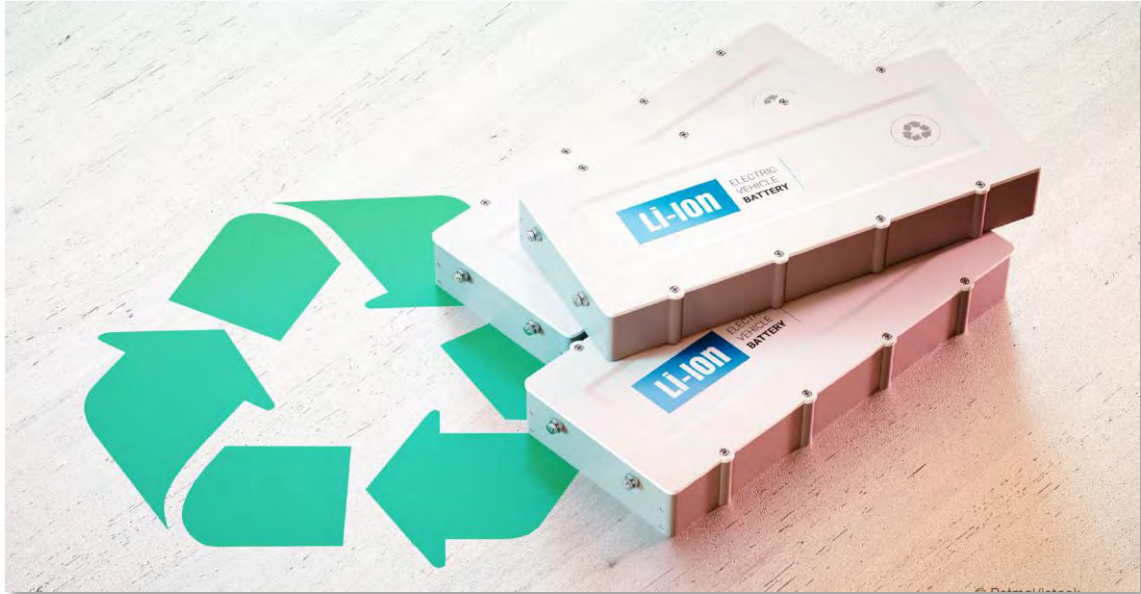
En este contexto de **neutralidad climática y electrificación de la economía**, Gipuzkoa, y el resto de nuestro territorio, persigue convertirse en un agente competitivo. La **recuperación**, al final de la vida útil de las baterías, de materiales de gran valor o su **reutilización** en otras aplicaciones o en procesos de **remanufactura**, precisa de una robusta red industrial de reciclaje que garantice la sostenibilidad y la circularidad de todo el proceso de recuperación. En definitiva, disponer de una **completa cadena de valor del reciclaje de baterías**.

Así, en el año 2021 se sentaron las bases de un trabajo en colaboración entre varios agentes estratégicos: la **Fundación Naturklima y la Dirección General de Transición Ecológica**, junto con algunos de los agentes más relevantes del sector automoción y el reciclaje de Euskadi. Como hito más reciente, a principios del 2023 la Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa – NATURKLIMA y Fundación CIDETEC firmaron un convenio de cooperación para el desarrollo de una estrategia para la generación de actividad económica en Gipuzkoa en torno a la economía circular de las baterías.

Así, el principal objetivo de esta iniciativa es la puesta en marcha, despliegue y dinamización de un **un foro o “hub” de empresas en torno a la economía circular de las baterías en Gipuzkoa** en el que, en clave de oportunidad, se den cita empresas, agentes tecnológicos y emprendedores con intereses en el ámbito de la cadena de valor circular de las baterías. En este *hub* se ofrecerá a las **empresas del ecosistema** orientación, apoyo tecnológico, propuestas de posibles nichos de negocio, información sobre las tendencias tecnológicas y normativas europeas e internacionales, participación en programas de investigación y desarrollo tecnológico financiados, y, en definitiva, un ámbito de crecimiento y discusión en este campo.

Como parte de las actividades del hub, se contempla la elaboración de diferentes informes, siendo el primero de ellos el presente informe sobre el **“Análisis integral de la Cadena de Valor de las baterías.”**

El foco de este documento reside en una identificación detallada de la cadena de valor de las baterías, poniendo acento en los conceptos de ecodiseño, circularidad y minimización del impacto medioambiental. Por lo tanto, este primer informe, **“Análisis integral de la Cadena de Valor de las baterías”**, tiene como objetivo recoger el análisis preliminar y preciso de los retos tecnológicos de esta cadena de valor, bajo el prisma de la circularidad.



## 2 Glosario

Para facilitar la lectura del informe, a continuación, se presentan a modo de Glosario una serie de conceptos básicos acerca de las baterías y su cadena de valor.

Una **batería** es cualquier dispositivo que suministra energía eléctrica generada por conversión directa de energía química que consta de una o más celdas que pueden estar organizadas en módulos, que a su vez se configuran en el denominado paquete de baterías o “*battery pack*”.

### 2.1 Categorías de Baterías

Las baterías se pueden clasificar en función de su tipo de aplicación (**Figura 1**). Las definiciones que se presentan a continuación están basadas en la *EU Battery Regulation*, regulación europea sobre baterías que ha entrado en vigor recientemente (Agosto 2023).

Battery Categories	Battery Definition and Use Cases	Battery Weight
<b>Electric vehicle (EV) battery</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provide electric power for the traction to hybrid or electric vehicles                             <ul style="list-style-type: none"> <li>of categories L (Regulation (EU) No 168/2013), if larger than 25 kg, or</li> <li>of categories M, N or O (Regulation (EU) 2018/858)</li> </ul> </li> </ul>	> 25 kg (category L)
<b>Light means of transport (LMT) battery</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provide electric power for traction to wheeled vehicles that can be powered by the electric motor alone or by a combination of motor and human power including type-approved vehicles of category L (Regulation (EU) No 168/2013), e.g. e-bikes and e-scooters</li> </ul>	≤ 25 kg
<b>Industrial battery<sup>1</sup></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Designed specifically for industrial uses or</li> <li>Intended for industrial uses after being subject to preparing for repurpose or repurposing, or</li> <li>Any battery above 5 kg that is not an LMT, EV or SLI battery</li> <li>Industrial uses include (Recital 12)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>industrial activities</li> <li>communication infrastructure</li> <li>agricultural activities</li> <li>energy storage in private or domestic environments</li> <li>generation and distribution of electric energy</li> <li>traction in other transport vehicles including rail, waterborne and aviation transport or off-road machinery</li> </ul> </li> </ul> <p>Subcategory: <b>Stationary battery energy storage system</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial battery with internal storage                             <ul style="list-style-type: none"> <li>specifically designed to store and deliver electric energy from and into the grid or store and deliver electric energy to end-user, regardless of where and by whom this battery is being used</li> </ul> </li> </ul>	> 5 kg (if no other category applies)
<b>SLI (starter, lighting, or ignition) battery</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Designed to supply electric power for starter, lighting, or ignition</li> <li>May also be used for auxiliary or backup purposes in vehicles, other means of transport or machinery</li> </ul>	-
<b>Portable battery</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not designed specifically for industrial uses</li> <li>Neither an electric vehicle battery, nor a light means of transport battery, nor an SLI battery</li> </ul>	≤ 5 kg
<b>Portable battery of general use</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargeable and non-rechargeable portable batteries specifically produced to be interoperable</li> <li>Common formats: 4,5 Volts (3R12), button cell, D, C, AA, AAA, AAAA, A23, 9 Volts (PP3)</li> <li>Providing traction to wheeled vehicles considered as toys (within Toy Safety Directive 2009/48/EC)</li> </ul>	-

<sup>1</sup> Only industrial batteries above 2 kWh within scope of battery passport

**Figura 1. Descripción general de las principales categorías de baterías.**

(Fuente: Battery Pass Project - Battery Passport report).

**Batería de vehículo eléctrico (BEV según las siglas en inglés, *Electric Vehicle Battery*)** | Cualquier batería diseñada específicamente para proporcionar energía eléctrica para la tracción de vehículos híbridos o eléctricos de categoría L (Reglamento (UE) 168/2013), o vehículos híbridos o eléctricos de las categorías M, N u O (Reglamento (UE) 2018/858).



**Batería de transporte ligero (LMT, Light Means of Transport)** | Cualquier batería sellada y que pese hasta 25 kg, diseñada para proporcionar tracción a vehículos que puedan ser accionados por el motor eléctrico o por una combinación de motor y fuerza humana.

**Batería SLI** | Batería diseñada para suministrar energía eléctrica para el arranque, la iluminación o encendido, y/o con fines auxiliares o de respaldo en vehículos, otros medios de transporte o maquinaria.

**Batería industrial** | Batería diseñada específicamente para usos industriales, o cualquier batería destinada a usos industriales después de haber sido sometida preparada para su reutilización, excluyendo baterías LMT, baterías de vehículos eléctricos y baterías SLI.

**Sistema de almacenamiento estacionario** | Batería industrial con almacenamiento diseñada específicamente para almacenar y entregar energía eléctrica desde y hacia la red; o almacenar y entregar energía eléctrica al usuario final.

**Otras baterías industriales** | Todas las baterías industriales que no son estacionarias.

**Pilas portátiles de uso general** | Se entiende por pilas portátiles recargables y no recargables y producidas específicamente para ser interoperables y con los siguientes formatos comunes: 4.5 Voltios, pilas de botón, D, C, AA, AAA, AAAA, A23 o 9 Voltios.

## 2.2 Terminología Relacionada con las Baterías

Además de la definición de batería y sus categorías, se utilizan diferentes términos para definir **grupos** de baterías o baterías **individuales**.

**Modelo de batería** | Versión de una batería en la que todas las unidades comparten las mismas características técnicas relevantes para la sostenibilidad y los requisitos de seguridad y etiquetado, marcado y requisitos de información.

**Lote de baterías (battery batch)** | Grupos de baterías fabricados consistentemente a un modelo específico, identificables por su código de identificación de lote individual. Estos lotes comparten características idénticas en el proceso de fabricación y materia prima (por ejemplo, cantidad de energía renovable usada para su manufactura).

**Batería individual o singular** | Estas baterías son identificables mediante un número de serie de producto único.

Términos que describen los **componentes** de la batería:

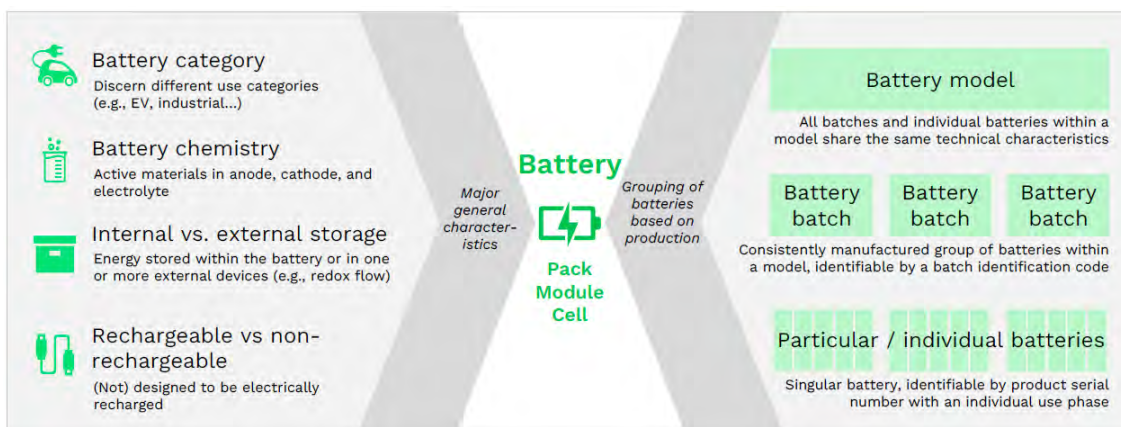
**Celda (cell)** | Unidad funcional básica de una batería constituida por electrodos, electrolito, contenedor, terminales y, en su caso, separadores y que contienen materiales activos cuya reacción genera energía eléctrica.

**Módulo de baterías (battery module)** | Conjunto de celdas que están conectadas entre sí o encapsuladas dentro de una carcasa exterior para proteger las células contra impactos externos, y que está destinado a ser utilizado de forma independiente o en combinación con otros módulos.

**Paquete de batería (battery pack)** | Conjunto de módulos que están conectados entre sí o encapsuladas dentro de una carcasa exterior, formando una unidad completa.

**Materiales activos (active materials)** | Material que reacciona químicamente para producir energía eléctrica cuando la celda se descarga o para almacenar energía eléctrica cuando la batería se carga.

**Sistema de gestión de batería (BMS, Battery Management System)** | Dispositivo electrónico que controla o gestiona las funciones eléctricas y térmicas de la batería para garantizar la seguridad de la batería, rendimiento y vida útil. Gestiona y almacena los datos sobre los parámetros para determinar el estado de salud y su vida útil.



**Figura 2. Definiciones relevantes.**

(Fuente: Battery Pass Project - Battery Passport report).

Otros términos relevantes que describen **características** de las baterías:

**Química de la una batería (battery chemistry)** | Composición de la batería en términos generales, como indicación de diferencias entre baterías, diferenciando las químicas de los materiales usados en los electrodos y electrolito.

**Estado de una batería (battery status)** | Describe el estado actual de una batería individual en su ciclo de vida, con las opciones "original", "reutilizado", "reparación", "remanufacturado" y "residuos".



**Batería no recargable (*non-rechargeable battery*)** | Batería que no está diseñada para ser eléctricamente recargada.

**Batería recargable (*rechargeable battery*)** | Batería diseñada para recargarse eléctricamente.

## 2.3 Actores relevantes

Los siguientes términos (listados alfabéticamente) describen de manera general a los actores que manipulan baterías según lo definido por el reglamento (*EU Battery Regulation*). A menudo, estos actores no están completamente separados en la práctica; por ejemplo, una empresa puede asumir diferentes roles. A continuación, se presentan, por orden alfabético, los actores más relevantes dentro de la cadena de valor:

**Autoridad nacional** | Autoridad de aprobación o cualquier otra autoridad involucrada y responsable de la vigilancia del mercado en un estado con respecto a las baterías.

**Distribuidor** | Cualquier persona natural o jurídica en la cadena de suministro, distinta del fabricante o el importador que comercializa una batería.

**Fabricante** | Persona física o jurídica que fabrica o tiene una batería diseñada o fabricada, y comercializa dicha batería bajo su propio nombre o marca registrada o la pone en servicio para sus propios fines.

**Gestor de residuos** | Persona física o jurídica que realice actividades profesionales relacionadas con la recogida selectiva, clasificación, tratamiento o el reciclado de pilas usadas.

**Importador** | Toda persona física o jurídica que posicione una batería en un determinado mercado (ej. Europeo), y que proceda de un país tercero.

**Operador económico** | Fabricante, el representante autorizado, el importador, el distribuidor o el proveedor de servicios de cumplimiento o cualquier otra persona natural o jurídica que está sujeta a obligaciones en relación con la fabricación de baterías, incluyendo la preparación baterías para su reutilización, reparación o remanufactura.

**Operador independiente** | Persona física o jurídica que es independiente del fabricante y el productor y participa directa o indirectamente en la reparación, mantenimiento o reutilización de baterías, incluyendo operadores de gestión de residuos, reparadores, fabricantes o distribuidores de equipos de reparación, herramientas o repuestos, así como operadores que ofrecen inspección y pruebas; o formación.



**Poseedor de residuos** | Productor de residuos o persona física o jurídica que se encuentra en posesión de los residuos.

**Productor** | Fabricante, importador o distribuidor de baterías.

**Reciclador** | Cualquier persona física o jurídica que realiza procesos de reciclaje en una instalación permitida.

**Representante autorizado** | Persona física o jurídica establecida en la Unión que haya recibido un mandato escrito de un fabricante para actuar en su nombre en relación con tareas específicas relacionadas con las obligaciones del fabricante.

**Responsabilidad extendida del productor (*Extended Producer Responsibility, EPR*)** | La Responsabilidad Extendida del Productor es una estrategia diseñada para posibilitar la transición a una economía circular al responsabilizar a los fabricantes de gestionar todo el ciclo de vida de sus productos. Así, el EPR es un enfoque de política ambiental según el cual los 'Productores/Generadores de residuos de baterías' son responsables de financiar la recolección, el transporte y la eliminación de las baterías al final de su vida útil. Requiere que los productores diseñen productos que sean más fáciles de reciclar o reutilizar, haciéndolos más sostenibles, y reduce el impacto ambiental de los residuos al evitar su eliminación inadecuada o poco ética. Esto implica establecer métodos para la recolección y el reciclaje de baterías usadas, asegurarse de que se recojan por separado de otros productos de desecho y alcanzar objetivos predeterminados de recolección y reciclaje. La trazabilidad, falta de disponibilidad de datos o la implementación (a nivel legal, técnico o económico), son algunos de los desafíos habituales más relevantes para la implementación de la EPR.

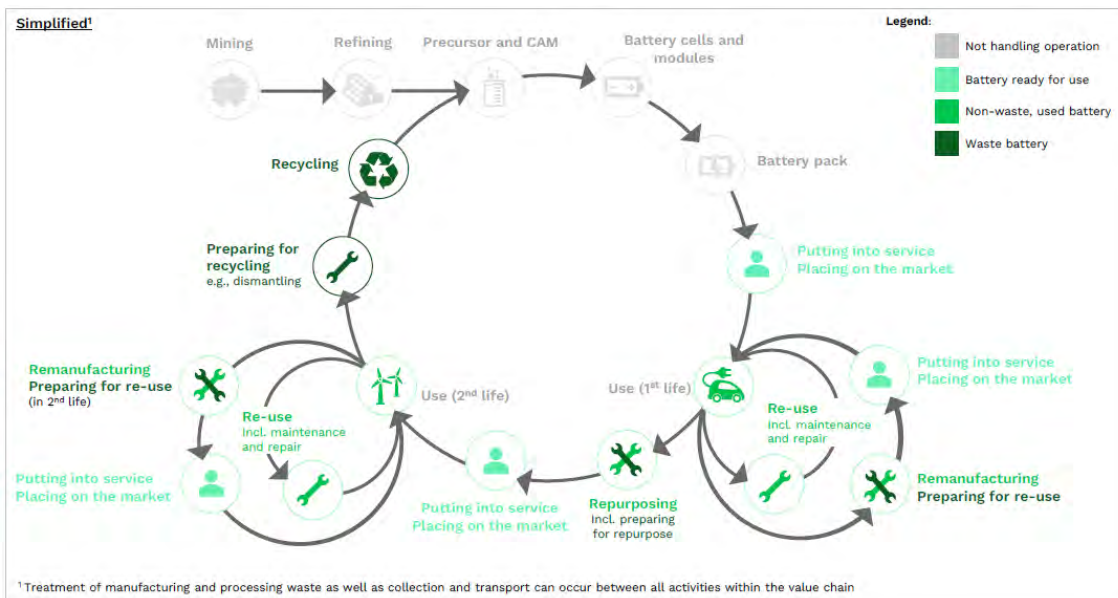
Normalmente, se le paga a una organización, normalmente llamadas Organización de Responsabilidad del Productor (*Producer Responsibility Organisation*), para que esté a cargo de la EPR y organice la gestión de residuos. Según la nueva legislación de baterías (EU Batteries Regulation, explicada ampliamente en las siguientes secciones), es el *operador económico* quien pasa a ser responsable de la gestión de residuos, asumiendo la responsabilidad financiera y organizativa de la gestión de la etapa de residuos de una batería.

**Titular de una batería** | Persona física o jurídica en posesión de una batería usada o de desecho.

**Usuario final** | Cualquier persona física o jurídica para a quien un producto se ha puesto a disposición, ya sea como consumidor o como usuario final profesional en el curso de su actividad industrial.

## 2.4 Logística de las baterías a lo largo de la cadena de valor

Las definiciones para las diferentes operaciones de manipulación de baterías a lo largo de su cadena de valor se muestran en la **Figura 3**. Las definiciones están ordenadas según su posición dentro de los ciclos de vida y el estado de la batería.



**Figura 3. Vista general de la logística de las baterías dentro de su cadena de valor (cíclica y sostenible).** (Fuente: Battery Pass Project - Battery Passport report).

### Baterías listas para su uso principal:

**Puesta a disposición en el mercado** | Cualquier suministro de una batería para su distribución o uso en el mercado en el curso de una actividad comercial.

**Puesta en el mercado** | Primera comercialización de una batería en un mercado.

**Puesta en servicio** | Se entiende como la primera utilización, para el fin previsto, de un batería, sin haber sido comercializada previamente.

### Baterías en su primer y segundo uso

**Reutilización en primera vida (reuse)** | Cualquier operación mediante la cual productos o componentes de una batería que no son residuos, se reutilizan para el mismo fin para el que fueron concebidos.



**Reutilización en segunda vida (*repurposing*)** | Cualquier operación mediante la cual productos o componentes de una batería que no son residuos, se reutilizan para un propósito o aplicación diferente a su diseño original.

**Reparación (*repair*)** | Devolver a un producto defectuoso o un residuo la condición en la que cumpla con su uso previsto.

**Mantenimiento (*maintenance*)** | Acción llevada a cabo para mantener un producto en la condición en la que puede funcionar según sea necesario.

**Remanufactura (*remanufacturing*)** | La remanufactura permite ampliar la vida útil de un producto defectuoso recuperando el nivel de calidad que tenía en el momento de su fabricación. Así, es una operación técnica en una batería usada que incluye el desmontaje y evaluación de todos sus módulos y celdas, así como el uso de una determinada cantidad de celdas, módulos u otros componentes (nuevos, usados o recuperados de residuos); para restaurar la capacidad de la batería en, al menos, al 90% de su capacidad nominal original, y en la que el estado de salud de todas las celdas individuales es homogéneo y no difiere en más del 3%. Así, esta batería remanufacturada se utilizaría para el mismo propósito para el cual fue originalmente diseñado. Normalmente se comercializarían con una garantía comercial.

### Baterías al final de su vida útil

**Tratamiento (*treatment*)** | Actividad realizada con pilas usadas después de que hayan sido entregadas a una instalación para su clasificación, preparación para su reutilización, o reciclaje.

**Preparar para la reutilización (*preparing for reuse*)** | Comprobar o limpiar, productos o componentes de productos que se han convertido en residuos, pero que se pueden reutilizar directamente sin ningún procesamiento previo.

**Preparación para la reutilización en segunda vida (*preparing for repurposing*)** | Operación mediante la cual partes o la batería complete, está preparada para que pueda usarse para una aplicación diferente a la que fue diseñada originalmente.

**Preparación para el reciclaje (*preparing for recycling*)** | Tratamiento de baterías usadas antes de cualquier procesamiento de reciclaje, incluyendo su almacenamiento, manipulación, descarga y desmontaje.



**Reciclaje (*recycling*)** | Operación de recuperación mediante la cual los materiales de desecho se reprocessan en productos, materiales o sustancias, ya sea para los fines originales o para otros fines.

**Gestión de residuos (*waste management*)** | Recogida, transporte, valorización (incluida la clasificación) y eliminación de residuos, incluyendo la supervisión de dichas operaciones y gestión de los vertederos.

## 2.5 Terminología Técnica para el Diagnóstico o Estado de Salud de las Baterías

**Capacidad nominal (*nominal capacity*)** | La capacidad (C) que posee una batería completamente cargada para suministrar una cantidad de electricidad específica (Ah) a un valor de corriente determinado (Amperio, A) durante un período de tiempo definido (horas, h). Normalmente especificada por el fabricante.

**Ciclo** | En una batería, una descarga más una carga equivalen a un ciclo.

**Estado de salud (*state-of-health, SoH*)** | El SoH refleja el ratio entre la capacidad máxima actual de la batería respecto a su capacidad inicial (nominal, especificada por el fabricante). Por ejemplo, una batería de 100 Ah con una SoH del 80% tiene una capacidad máxima (capacidad residual) que ha quedado reducida a 80 Ah. Este término se utiliza a menudo para medir el envejecimiento de una batería con el paso del tiempo.

**Profundidad de descarga (*Deep-of-Discharge, DoD*)** | Es al porcentaje de carga eléctrica que se descarga una batería respecto a su capacidad máxima en ese momento. Por ejemplo, a una batería con una capacidad total de 40 Ah que se descargue con un DoD del 80%, se le estará extrayendo 32 Ah.

**Estado de carga (*State-of-Charge, SoC*)** | Cantidad de energía eléctrica almacenada en una batería en un momento determinado, expresada como porcentaje de la capacidad inicial (nominal, especificada por fabricante), o de la capacidad actual medida por el estado de salud de la batería. Por ejemplo, una batería con una capacidad máxima de 100 Ah que esté con un SoC del 60%, tendrá disponibles 60 Ah.

**Vida útil** | La vida útil de las baterías, se refiere al tiempo en que se usará la batería en la función para la que ha sido diseñada, para lo que debe retener cierto porcentaje utilizable de la capacidad inicial, o estado de salud. Normalmente especificado por el fabricante y definido bajo ciertas condiciones de corrientes, temperaturas de trabajo, DoD, etc.

Las baterías tienen una vida útil que se especifica y estima en ciclos o en tiempo de años de uso, bajo ciertas condiciones. A la primera opción se la llama **vida útil de ciclos (*cycle life*)**, y a la segunda, **vida útil de calendario (*calendar life o lifespan*)**. Estos conceptos se diferencian porque una batería puede haber



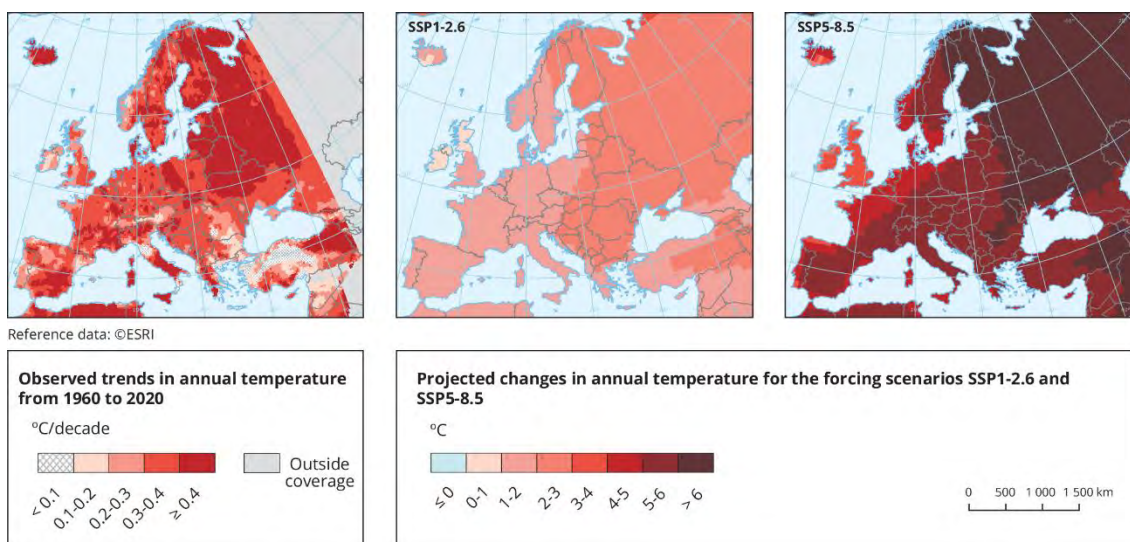
estado inactiva (sin ciclar) por un tiempo, por ejemplo, en un almacén de una fábrica, o dentro de un vehículo eléctrico sin uso, y ese tiempo cuenta para su envejecimiento a causa de reacciones químicas secundarias que tienen lugar incluso cuando no se está utilizando la batería.

**Final de vida (*end-of-life, EoL*)** | Aplicado a las baterías usadas que ya no tienen la capacidad suficiente (por degradación), o no pueden cumplir su función de diseño original y, por tanto, alcanzan el final de su vida útil. Si hubiera posibilidad de reutilizarlas en una segunda vida, el final de vida se considera como el final de su primera vida.

### 3 Introducción: Políticas Europeas y Contexto Legislativo

#### 3.1 Una demanda de baterías en aumento

La temperatura media mundial entre 2011 y 2020 fue  $\sim 1.20$  °C más caliente que en el nivel preindustrial, convirtiéndola en la década más cálida registrada hasta la fecha. En Europa, este aumento fue aún más rápido durante este periodo ( $\sim 2$  °C). Debido a esta situación, los países miembros de la Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (UNFCCC) se comprometieron en el Acuerdo de París a limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C por encima del nivel preindustrial e intentar limitar el aumento a 1.5 °C. Sin embargo, sin recortes drásticos en las emisiones globales de gases de efecto invernadero, incluso el límite de 2 °C ya se superaría antes de 2050.



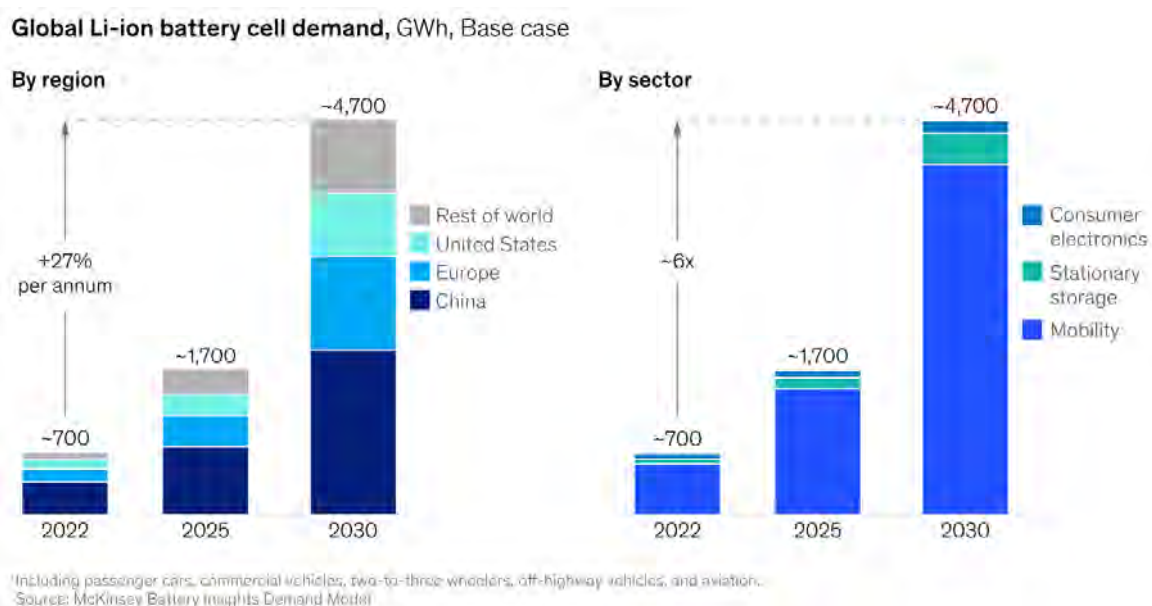
**Figura 4. Tendencia de temperatura media anual observada de 1960 a 2020 (panel izquierdo) y cambio de temperatura proyectado para el siglo XXI bajo diferentes escenarios SSP (panel derecho) en Europa.**

(Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente).

Como parte de la estrategia de lucha contra el cambio climático, los 27 Estados miembros de la Unión Europea (UE) esbozaron el Pacto Verde Europeo (*European Green Deal*), una propuesta comprometida a convertir a la UE en un continente climáticamente neutro para 2050. Para lograrlo, las emisiones de gases invernadero deben reducirse en al menos un 55 % para 2030 (en comparación con los niveles de 1990). El transporte representa un  $\sim 25\%$  de estas emisiones, siendo el transporte por carretera responsable del 72 %. En este contexto, los sistemas de almacenamiento de energía, y más en particular las baterías, son habilitadores tecnológicos clave para combatir el cambio climático. Dentro de todos los tipos de baterías recargables, las más usadas y tecnológicamente avanzadas son las baterías de iones de litio (*lithium ion batteries, LIB*).

En este contexto, se espera que la demanda mundial de baterías de iones de litio (LIB) se dispare durante la próxima década, y la cantidad de GWh necesarios **aumentará de unos 700 GWh en 2022 a unos 4.7 TWh en 2030 (Figura 5)**. Las baterías utilizadas en aplicaciones de movilidad, como los vehículos eléctricos (EV), representarán la mayor parte de esta demanda: **solo en 2030 se espera alrededor de 4.300 GWh**. Esto se debe en gran medida a tres factores principales:

- Un cambio regulatorio hacia la sostenibilidad, que incluye nuevos objetivos y directrices de emisiones netas cero (*zero-net emissions*), la Ley de Reducción de la Inflación de EE. UU. (*US Inflation Reduction Act*), o la prohibición para 2035 de los vehículos con motor de combustión interna (ICE) en la UE.
- Mayor demanda de tecnologías más ecológicas por parte de los consumidores (hasta el 90% de las ventas totales de automóviles de pasajeros involucrarán EVs en 2030).
- Anuncios de los principales fabricantes OEM para parar la fabricación de vehículos de combustión interna y lograr los objetivos de reducción de emisiones.



**Figura 5. Demanda mundial de baterías de litio ion (LIB). Las previsiones de demanda se estiman en un crecimiento anual del 27%, alcanzando los 4,700 GWh en 2030**

(Fuente: McKinsey Battery Insights).

Debido a este crecimiento exponencial, la cadena de valor de las baterías se enfrenta a importantes desafíos ambientales, sociales y de gobernanza, como los expuesto en la **Figura 6**.

## The battery value chain continues to face numerous environmental, social, and governance challenges.



**Figura 6. Esquema de los retos ambientales, sociales y de gobernanza de la cadena de valor de las baterías**

(Fuente: McKinsey Battery Insights).

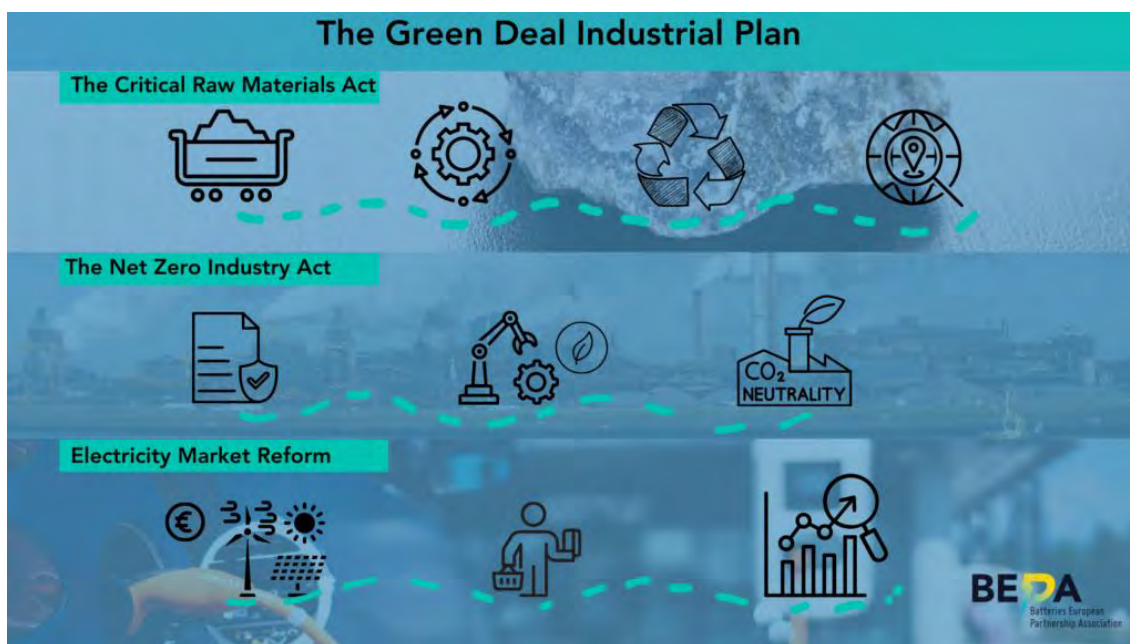
En resumen, las baterías son elementos clave para contribuir a la descarbonización de la Unión Europea y ayudar a una transición energética limpia. Se espera que la demanda de baterías crezca rápidamente en los próximos años y, para hacer frente a esta gran demanda y a todos los desafíos que conlleva, es fundamental un despliegue de recursos suficientes, así como de una mayor transparencia y mejores medidas de mitigación; pero, sobre todo, un marco regulatorio que contribuya a armonizar el ciclo de vida de las baterías producidas y comercializadas dentro de la Unión Europea; así como de establecer normas sobre sostenibilidad, rendimiento, seguridad, recogida, reciclado y segunda vida de las baterías.

### 3.2 Marco Regulatorio en Europa

Los Estados de la UE se han comprometido a lograr la neutralidad climática de aquí a 2050, cumpliendo los compromisos asumidos en el marco del Acuerdo internacional de París. Así, el **Pacto Verde Europeo (European Green Deal)** es un paquete de iniciativas políticas cuyo objetivo es situar a la UE en el camino hacia una transición ecológica, con el objetivo último de alcanzar la neutralidad climática de aquí a 2050. La Comisión puso en marcha el Pacto Verde Europeo en diciembre de 2019 e incluye iniciativas que abarcan el clima, el medio ambiente, la energía, el transporte, la industria, la agricultura y las finanzas sostenibles, todas ellas estrechamente relacionadas.

Una de estas iniciativas es el paquete **Fit-for-55 (Objetivo 55)**, que tiene por objeto traducir las ambiciones climáticas del Pacto Verde en legislación. El paquete es un conjunto de propuestas para revisar la legislación relacionada con el **clima, la energía y el transporte** y poner en marcha nuevas iniciativas legislativas para adaptar la legislación de la UE a los objetivos climáticos de la UE. Así, el Consejo Europeo ha fijado el objetivo de que la UE reduzca sus emisiones de gases de efecto invernadero en **al menos un 55 % de aquí a 2030 con respecto a los niveles de 1990** y alcance la **neutralidad climática** de aquí a **2050**. En virtud de la Legislación Europea sobre el Clima, estos objetivos son vinculantes para la UE y sus Estados miembros. Para alcanzarlos, los Estados miembros de la UE deben adoptar medidas concretas para **reducir las emisiones y descarbonizar la economía**, adoptando nuevas normas y actualizando la legislación ya vigente.

En febrero de 2023, la Comisión Europea introdujo el **Plan Industrial del Pacto Verde (The Green Deal Industrial Plan)** para mejorar la competitividad de la industria de Europa y apoyar la transición hacia la neutralidad climática (*net-zero*). Este plan se basa en iniciativas anteriores, y complementa las medidas del Pacto Verde Europeo y *REPowerEU* (lanzado en mayo de 2022, *REPowerEU* es un plan para dar respuesta a las dificultades y la perturbación del mercado energético mundial causadas por la invasión rusa a Ucrania).



**Figura 7. Las tres iniciativas del Green Deal Industrial Plan**

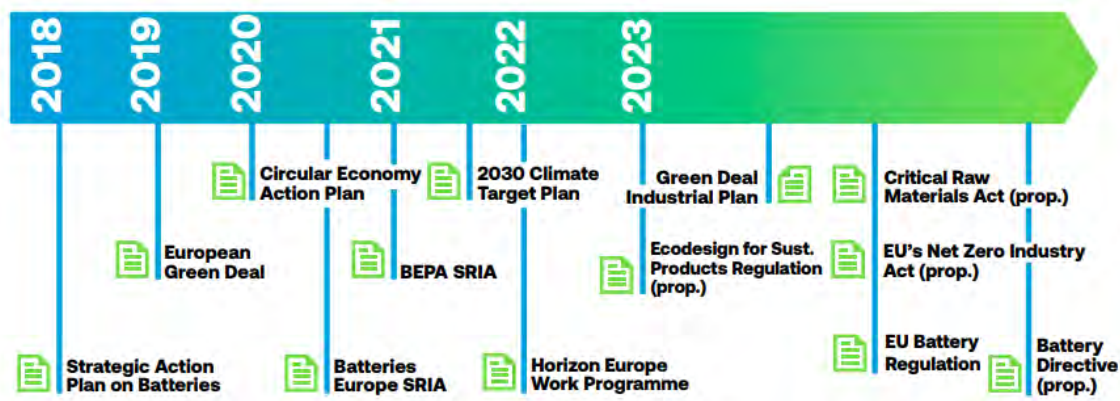
(Fuente: BEPA).

Así, el Plan Industrial del Pacto Verde se basa en cuatro pilares: (i) un entorno regulatorio predecible y simplificado, (ii) acelerar el acceso a la financiación, (iii) mejorar la capacitación de personal cualificado y

(iv) abrir el comercio para lograr cadenas de suministro resilientes; e incluye tres propuestas regulatorias clave (**Figura 7**):

- **Ley de Materias Primas Críticas (*The Critical Raw Materials Act, CRMA*)**
- **Ley de Industria Net-Zero (*The Net Zero Industry Act, NZIA*)**
- La reforma del diseño del mercado eléctrico (*Electricity Market Reform*).

Estas iniciativas tienen como objetivo reducir la dependencia de las importaciones de materias primas que sean cruciales para la producción de baterías (*CRM, Critical Raw Materials*), acelerar el despliegue de tecnologías industriales clave para alcanzar los objetivos de neutralidad climática y permitir que los consumidores se beneficien de un mayor uso y menores costos de energía renovable, respectivamente. A mediados de marzo de 2023, la CE publicó las propuestas legislativas para el CRMA y el NZIA, así como la reforma energética. En este momento los tres reglamentos deben ser discutidos y acordados por el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea antes de que entren en vigor, por lo que es probable que se realicen enmiendas a los actuales borradores.



**Figura 8. Cronograma de documentos estratégicos a nivel Europeo.**

(Fuente: Batteries Europe, Septiembre 2023).

El trío de regulaciones bajo el plan Green Deal Industrial cubre toda la cadena de valor de las baterías: ***The Critical Raw Materials Act, CRMA*** cubre el principio y el final de su vida útil, ***The Net Zero Industry Act, NZIA*** cubre la producción y la fabricación, y la Reforma del Mercado Eléctrico aborda los aspectos regulatorios y de mercado para aplicaciones de almacenamiento estacionario.

### MARCO LEGISLATIVO PARA LAS BATERÍAS

Como se ha visto anteriormente, la demanda de baterías ha crecido enormemente en los últimos años, y se prevé un aumento aún más significativo en las siguientes décadas. Este crecimiento exponencial conducirá a un aumento equivalente de demanda de materias primas, de ahí la necesidad de minimizar



su impacto medioambiental y de actualizar las leyes en torno a la cadena de valor de las baterías. A continuación, se expone un breve resumen de esta evolución legislativa.

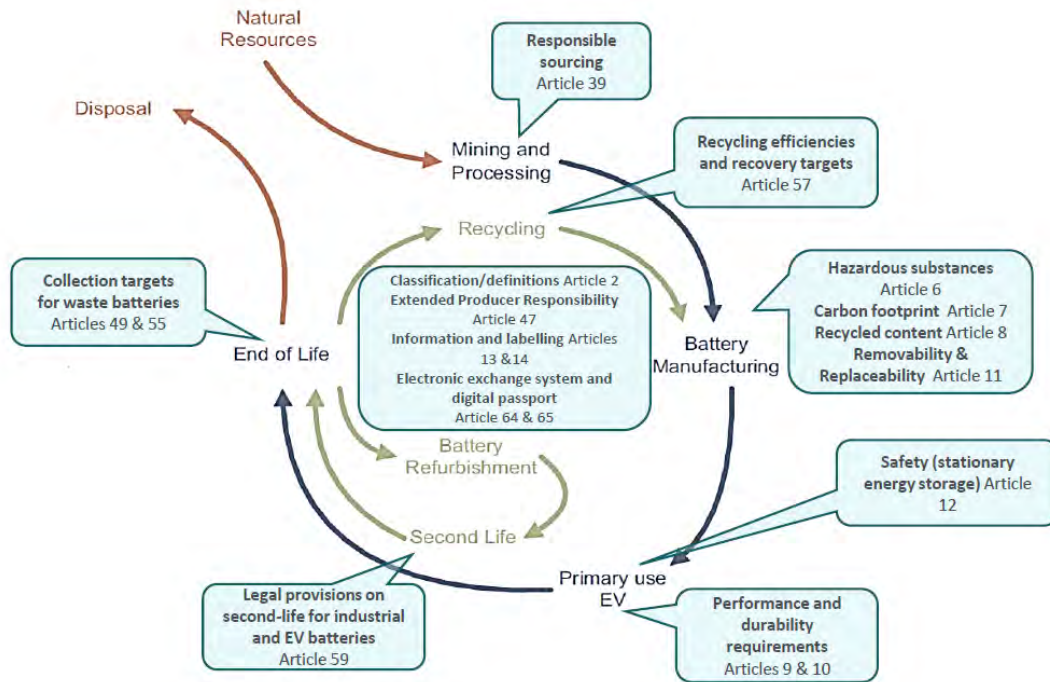
Desde 2006, las baterías y pilas usadas están reguladas a nivel de la UE según la Directiva sobre baterías (*Batteries Directive 2006/66/EC*).

En 2017, la Comisión lanzó la Alianza Europea de Baterías (*European Battery Alliance*) para construir una cadena de valor de baterías innovadora, sostenible y globalmente competitiva en Europa, y garantizar el suministro de las baterías necesarias para descarbonizar los sectores del transporte y la energía.

En diciembre de 2020, la Comisión propuso un nuevo y actualizado reglamento sobre baterías, en el que se revisó la *Batteries Directive* de 2006 debido a las nuevas condiciones socioeconómicas, avances tecnológicos, mercados y usos de las baterías.

Finalmente, para poder impulsar una economía circular, la sostenibilidad de productos y procesos, y apoyar el progreso tecnológico de Europa en el sector de las baterías; la UE decidió introducir un nuevo reglamento sobre baterías, la nueva **EU Batteries Regulation**, para dar una dirección clara hacia un marco regulatorio para las baterías en Europa que pueda garantizar la sostenibilidad de toda la cadena de valor a largo plazo. Esta regulación fue aprobada por el Parlamento Europeo a principios de este verano, y entró en vigor el 17 de agosto de 2023. A partir de 2023, este nuevo reglamento sustituirá gradualmente a la Directiva 2006/66/CE. Se implementará en todos los países miembros simultáneamente con el propósito común de minimizar los efectos nocivos de las baterías sobre el medio ambiente; y aplicará a:

- Todos los operadores económicos (fabricantes, productores, importadores y distribuidores) de cualquier tipo de batería comercializada en el mercado de la UE.
- Todas las baterías comercializadas en la UE, independientemente del origen de la batería o de sus materiales, incluidas las baterías portátiles, las baterías de vehículos eléctricos y las baterías LMT (medios de transporte ligeros).



**Figura 9. Cobertura de la nueva regulación de baterías dentro de la cadena de valor de las baterías.**

(Fuente: Comisión Europea).

El nuevo reglamento sobre baterías (**EU Batteries Regulation**) garantizará que, en el futuro, las baterías tengan una huella de carbono baja, utilicen un mínimo de sustancias nocivas, necesiten menos materias primas de países no pertenecientes a la UE y se recojan, reutilicen y reciclen en gran medida en Europa.

### 3.3 Batteries Regulation: Implicaciones circularidad y sostenibilidad.

El nuevo Reglamento de Baterías de la UE de 2023 establece nuevos estándares para la fabricación, etiquetado, uso y eliminación de baterías para minimizar el impacto ambiental y promover la economía circular. Así, el Reglamento de Baterías 2023 tiene varios objetivos:

- Reducir el impacto ambiental de las baterías,
- Promover la economía circular y
- Aumentar la transparencia para los consumidores.

Los puntos clave del reglamento incluyen la introducción de **estándares** mínimos para la **fabricación y el reciclaje de baterías**, el **etiquetado** obligatorio de las baterías con información sobre su impacto ambiental y su vida útil, y la obligación de **recuperar y reciclar** las baterías usadas. En esencia, **cubre todo el ciclo de vida de las baterías**.



**Figura 10. Algunos aspectos relevantes del Battery Regulation.**  
 (Fuente: elaboración propia, adaptada con información de BEPA).

A continuación, se exponen algunos de los aspectos más relevantes de esta regulación relacionado con la circularidad y sostenibilidad:

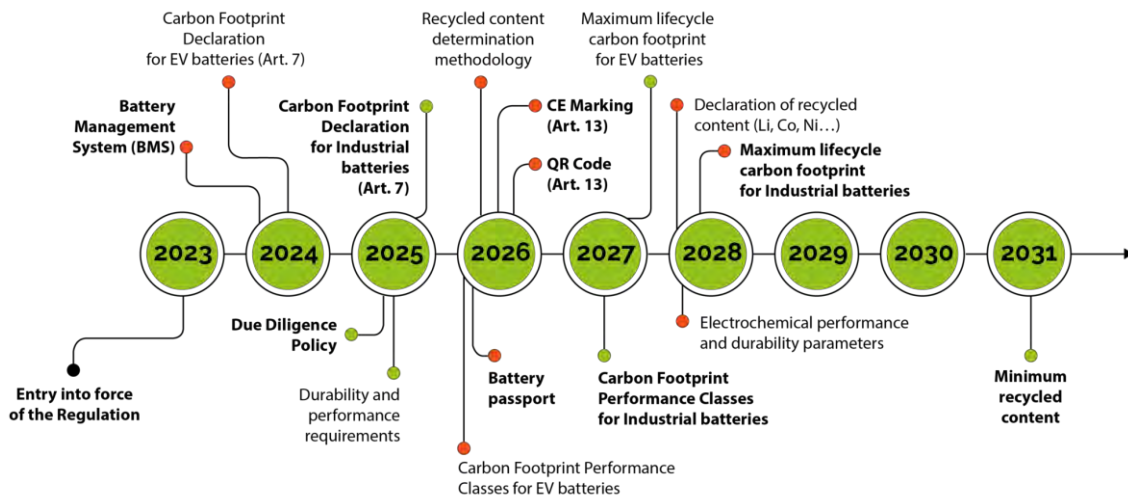
**Tabla 1. Visión general EU Batteries Regulation**

<b>Materias primas y reciclado</b>	
Objetivos de reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para 2031: el 16 % de cobalto, el 85 % de plomo, el 6 % de litio y el 6 % de níquel deben provenir de residuos recuperados de fabricación de baterías o de residuos posconsumo.</li> <li>• Para 2036: 26% cobalto, 85% plomo, 12% litio, 15% níquel.</li> <li>• Cada batería debe especificar la cantidad de contenido reciclado que contiene.</li> <li>• Para las baterías LMT, una tasa de recolección del 45% para 2028 y del 61% para 2031.</li> <li>• Los operadores económicos deben comunicar claramente las políticas de acuerdo con los estándares internacionales para abordar los riesgos sociales y ambientales inherentes al abastecimiento, el comercio y la producción de materias primas para baterías. (Directrices de la OCDE y Principios Rectores de las Naciones Unidas sobre Empresas y Derechos Humanos). Se trata de las cadenas de</li> </ul>

	suministro de cobalto, grafito, litio, níquel y algunas otras materias primas.
Final de vida	Prohibición total del vertido de pilas usadas en vertederos. Los operadores económicos deben recoger gratuitamente las baterías al final de su vida útil de los usuarios finales.
<b>Materiales y fabricación avanzados</b>	
Responsabilidad de fabricación y etiquetado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Todas las baterías industriales recargables, EV, LMT y con una capacidad superior a 2 kWh deben tener una declaración y una etiqueta de huella de carbono, que incluye el contenido reciclado de cobalto, plomo, litio y níquel utilizado en la producción de la batería. Esta información debe estar disponible también mediante código QR para 2027.</li> <li>Estas baterías también necesitarán el pasaporte digital de la batería, que contiene información sobre el modelo de la batería, su uso previsto e información más específica como capacidad, rendimiento, durabilidad, química y su símbolo de recogida de reciclaje. Puede obtener más información sobre el pasaporte de la batería en nuestro artículo sobre el tema aquí.</li> </ul>
Requerimientos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Restricciones a sustancias peligrosas</li> <li>Mercurio: no más del 0,0005% en peso</li> <li>Cadmio: no más del 0,002% en peso</li> <li>Plomo: no más del 0,01% en peso en baterías portátiles antes del 18.08.24</li> <li>Se presentará un informe al Parlamento Europeo y al Consejo antes de 2027 para ampliar potencialmente esta lista e incluir otras sustancias que se consideran peligrosas para la salud humana o que dificultan el reciclaje de materias primas secundarias seguras y de alta calidad en las baterías.</li> </ul>
<b>Usos y aplicaciones finales</b>	
Responsabilidad del usuario final	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para 2026, las baterías también deberán estar claramente marcadas con la etiqueta "CE" para demostrar que cumplen con los estándares de salud, seguridad y medio ambiente de la UE. Estas etiquetas deben colocarse en todo el dispositivo en un lugar claramente visible,</li> </ul>

	<p>y no solo en la batería misma. Esta información debe estar disponible también mediante código QR para 2027.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los usuarios finales deben desechar las baterías usadas por separado de otros flujos de desechos.</li> <li>• Las baterías LMT deben ser reemplazadas por un profesional independiente. Los usuarios finales tienen 42 meses para adaptar los diseños a sus productos para cumplir con este requisito.</li> <li>• El BMS debe tener una función de reinicio de software para permitir que se instale un BMS diferente para su uso en su segunda vida o al final de su vida útil. Una vez hecho esto, el fabricante original ya no será responsable de la batería.</li> </ul>
--	---

En conclusión, este nuevo reglamento sobre baterías establece objetivos sobre el material reciclado y qué información se necesita para que esté disponible sobre las baterías dentro de la UE. También proporciona pautas para la debida diligencia y responsabilidad del usuario durante toda la vida útil de la batería. Muchos de los requisitos y objetivos se establecen para dentro de varios años, lo que permite a los operadores económicos analizar e integrar los cambios necesarios en sus operaciones (**Figura 11**).



**Figura 11. Cronograma de la implementación de diversos aspectos relevantes del Battery Regulation.**

(Fuente: Flash Battery, 2023)

Por otra parte, en el momento actual existen diversas incertidumbres acerca de la metodología para establecer la medida y cumplimiento de muchos de los requisitos impuestos por la regulación, que se introducirán en un futuro mediante actos delegados. Estos cambios serán cruciales y, por tanto, la

regulación de las baterías aún está lejos de estar completa en su totalidad. Por ejemplo, la asociación europea de baterías *RECHARGE*, ha identificado hasta un total de 72 legislaciones secundarias que son necesarias para completar áreas no cubiertas por el nuevo reglamento. Estas legislaciones secundarias estarían aún por desarrollar y se estima que su implementación sería necesaria entre comienzos de 2024 y, como máximo, inicios del 2032.

### 3.4 Battery Passport: responsabilidades subsidiarias. Pasaporte digital obligatorio para las baterías

Con la llegada de la nueva Batteries Regulation (aplicación directa en todos los países europeos a partir de 2024, sin necesidad de implementación interna a través del ordenamiento jurídico de cada Estado), una de las figuras clave que se desprende de esta es el llamado “pasaporte digital de baterías” o *Battery Passport*; un registro electrónico incluido en el dispositivo que contiene información sobre la vida útil completa de la batería.

A través de este sistema de identificación, la UE busca ejercer "control" sobre las baterías que circularán en el futuro por Europa para garantizar el cumplimiento de la normativa aprobada.

Como norma básica, establece la necesidad de que todo sistema de almacenamiento contenga un **código QR** perfectamente visible que, a través de su lectura, ofrezca toda la información relativa a la batería: composición, capacidad, resultados en indicadores clave, durabilidad... En definitiva, todos aquellos aspectos que determinan cómo es el dispositivo.

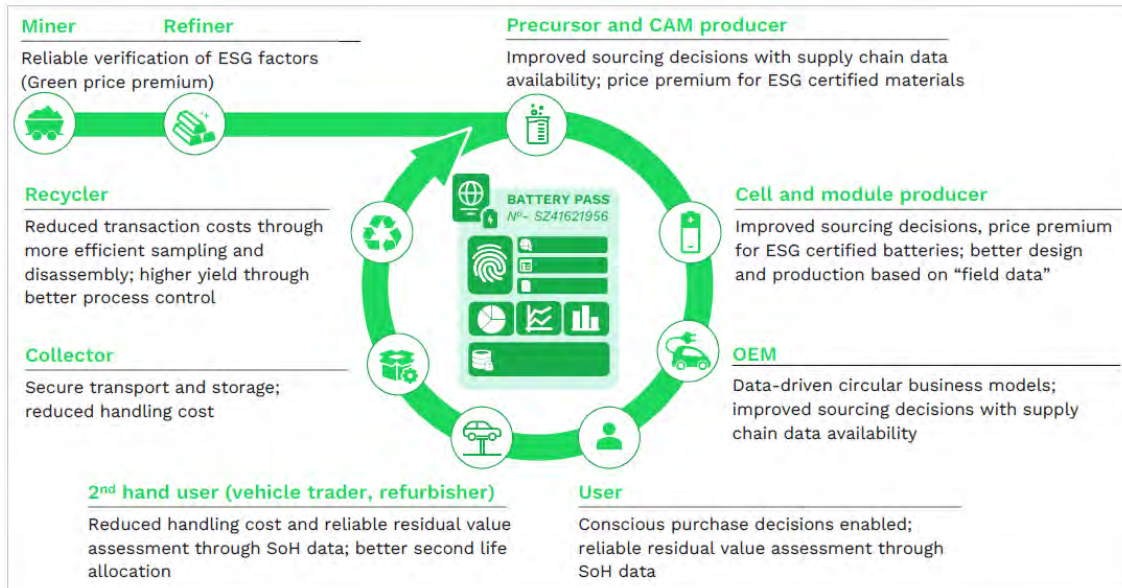
Además, y adicionalmente, todas las baterías que superen los 2kWh (como las de los vehículos eléctricos) deberán tener asociado el **pasaporte digital**, que debe contener no sólo información técnica de la batería, sino también datos asociados al desempeño medioambiental del dispositivo, indicando aspectos clave como su huella de carbono.

A través del **Battery Passport** se pretende, por ejemplo, garantizar y supervisar que las baterías cumplen uno de los nuevos mandatos marcados en la normativa recientemente aprobada, como es el uso de un porcentaje mínimo de materiales reciclados.

**Estas obligaciones se fijarán gradualmente.** Inicialmente sólo será necesario indicar la composición de las baterías y poco a poco se requerirá el porcentaje exacto de cada una de estas composiciones y la cantidad procedente del reciclaje.

Pero, sobre todo, la UE pone especial énfasis en el seguimiento, a través de este sistema, de la **huella de carbono asociada a cada batería fabricada en Europa**, estableciendo, una vez más, un sistema que paulatinamente irá estableciendo nuevas obligaciones para los productores. En primer lugar, la normativa

exigirá que se especifique la huella de carbono de cada modelo de batería a lo largo de su ciclo de vida, y esta cifra habrá que incluirla en el pasaporte digital. Para su cálculo, el regulador europeo determinará un sistema de estimación uniforme que utilizarán todos los fabricantes de baterías.



**Figura 12. Algunos aspectos relevantes del Battery Passport a lo largo de la Cadena de Valor de las Baterías.**

(Fuente: Battery Pass project).

A medio plazo, la Unión Europea establecerá categorías que determinarán la "clase" o tipo de batería según sus niveles de huella de carbono. Con ello, y como paso final, se fijarán niveles máximos de huella de carbono que tendrán en cuenta todo el ciclo de vida de las baterías y que en ningún caso podrán superarse según su tipo.

Pero toda esta regulación no está destinada únicamente a actividades de fabricación o reciclaje. También incluye secciones específicas destinadas a regular las operaciones de cualquier entidad que comercie con baterías o sus componentes clave y materias primas. Así, se establece una "política de debida diligencia" (de acuerdo con los estándares internacionales, "*due diligence policy*") que busca **reducir los riesgos sociales y ambientales** que puedan presentarse en las actividades de suministro de materiales, transformación y comercialización de sistemas de almacenamiento.

Estas obligaciones incluirán, entre otras cosas, verificar que las baterías comercializadas cumplen con los requisitos específicos de documentación o etiquetado mencionados anteriormente. Además, obligaciones similares a las de los fabricantes también se aplicarán a aquellos comercializadores que introduzcan modificaciones en las baterías o cambien su uso inicial previsto.



**Cuenta atrás.** El reglamento antes mencionado es sólo un punto culminante de las implicaciones que las nuevas regulaciones tendrán en el sector europeo en los próximos años. Así, hay que tener en cuenta que esta primera normativa es una "ley básica" y que aún será necesario desarrollarla en el futuro para determinar su pleno impacto. Sin embargo, con estos primeros pilares ya se pueden determinar algunas implicaciones clave para la industria de baterías de la UE.

Quizás el más importante sea cómo deberá transformarse el proceso de fabricación de baterías en los próximos años. Al incluir el porcentaje de materiales reciclados utilizados o la huella de carbono asociada como elementos clave en el pasaporte, será necesario actualizar no sólo el proceso de producción en sí, sino también la fase de diseño. **Enfoques como el "diseñado para el reciclaje" o el "ecodiseño" serán clave para cumplir con el mandato europeo**, y es aquí donde las metodologías basadas en LCA (*Life Cycle Assessment*) serán cada vez más estratégicas. Este tipo de análisis permite identificar, evaluar y cuantificar los impactos ambientales de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida de forma iterativa.

### 3.5 Conclusiones: la sostenibilidad de las baterías, prioridad europea de primer nivel

A través de esta nueva regulación, se busca un impacto que va más allá de garantizar la sostenibilidad del sector europeo de las baterías. Por sus características y mandatos, este reglamento también se considera una "vía de protección" para la futura gran industria europea de baterías.

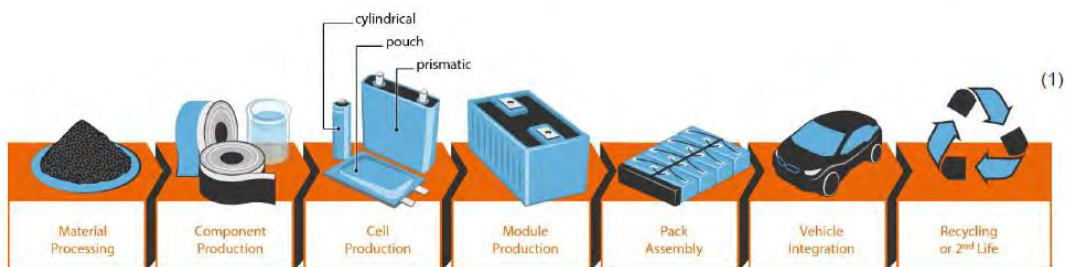
A través de su regulación también busca establecer una barrera protectora para evitar la entrada de productos que no cumplan con los requisitos establecidos, siendo los fabricantes asiáticos los más afectados si no se adaptan a este nuevo régimen. De ahí que muchos analistas consideren también que se trata de un respaldo del máximo organismo europeo al sector local de las baterías, buscando reforzar su competitividad y protegerlo de otras regiones que también luchan por dominar una de las industrias del futuro.

En conclusión, estamos hablando de un nuevo marco regulatorio que está diseñado para asegurar el éxito de una de las grandes apuestas industriales de Europa para su competitividad futura. Por ello, es fundamental seguir desarrollando no sólo esta normativa, sino también todos aquellos avances científicos y tecnológicos que aseguren la consecución de estos objetivos y su cumplimiento lo antes posible.

## 4 Cadena de Valor Circular de las Baterías

Las baterías, como producto complejo que son, presentan una cadena de valor extensa que empieza con la extracción de materias primas naturales. Las baterías pueden considerarse un artículo perecedero, en el sentido en que pierden prestaciones con el uso, incluso con el mero paso del tiempo (con el denominado “calendar ageing”), en el que dejan de ser útiles en las aplicaciones para las que fueron inicialmente diseñadas. A partir de ese momento es cuando se habla de segundos usos y, en última instancia, de reciclado.

La cadena de valor de las baterías, o “*The Battery Value Chain*” según su denominación usual en inglés, se ha venido representando clásicamente de una manera lineal. En la siguiente figura se muestra un ejemplo típico:



**Figura 13. Esquema lineal simplificado de la cadena de valor de las baterías.**

*Fuente: Dr Tobias Placke, MEET Battery Research Center*

Aunque el concepto de reciclado y segunda vida esencialmente siempre ha estado formando parte de la aproximación a la cadena de valor de las baterías, no es hasta tiempos relativamente recientes que se ha empezado a profundizar en el **concepto de circularidad**, optimizando el ciclo de valor de los materiales y sistemas.

Actualmente las cadenas de valor de las baterías se tienden a representar de manera circular (no lineal), haciendo hincapié en los ciclos de vida primario (primer uso) y secundario(s) (segundo uso o más allá) antes de pasar al reciclado, en las que se prioriza la recuperación de los materiales más valiosos y realimentación del sistema. A continuación, se muestran varios ejemplos de cadenas circulares (**Figuras 14 – 18**).

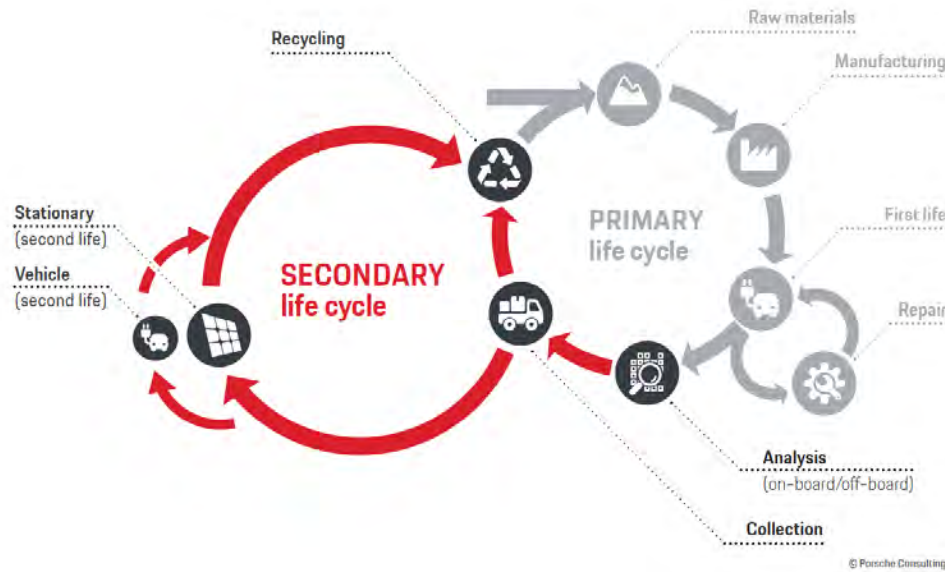


Figura 14. Esquema circular simplificado de la cadena de valor de las baterías.

Fuente: Porsche Consulting

Algunas cadenas de valor circulares, como la representada por Roland Berger, se focalizan en el segundo uso y reciclaje como factores a destacar, debido a la funcionalidad restante y al contenido de materias primas críticas y valiosas en estas baterías usadas de EVs que han llegado al final de su primera vida (Figura 15).

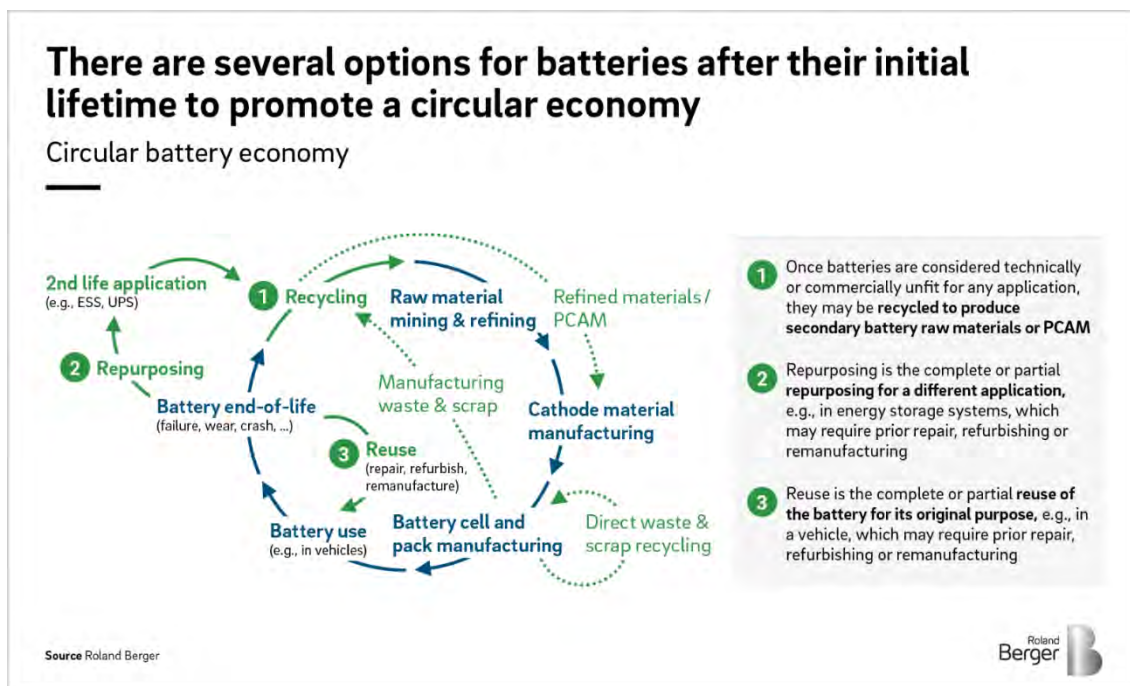
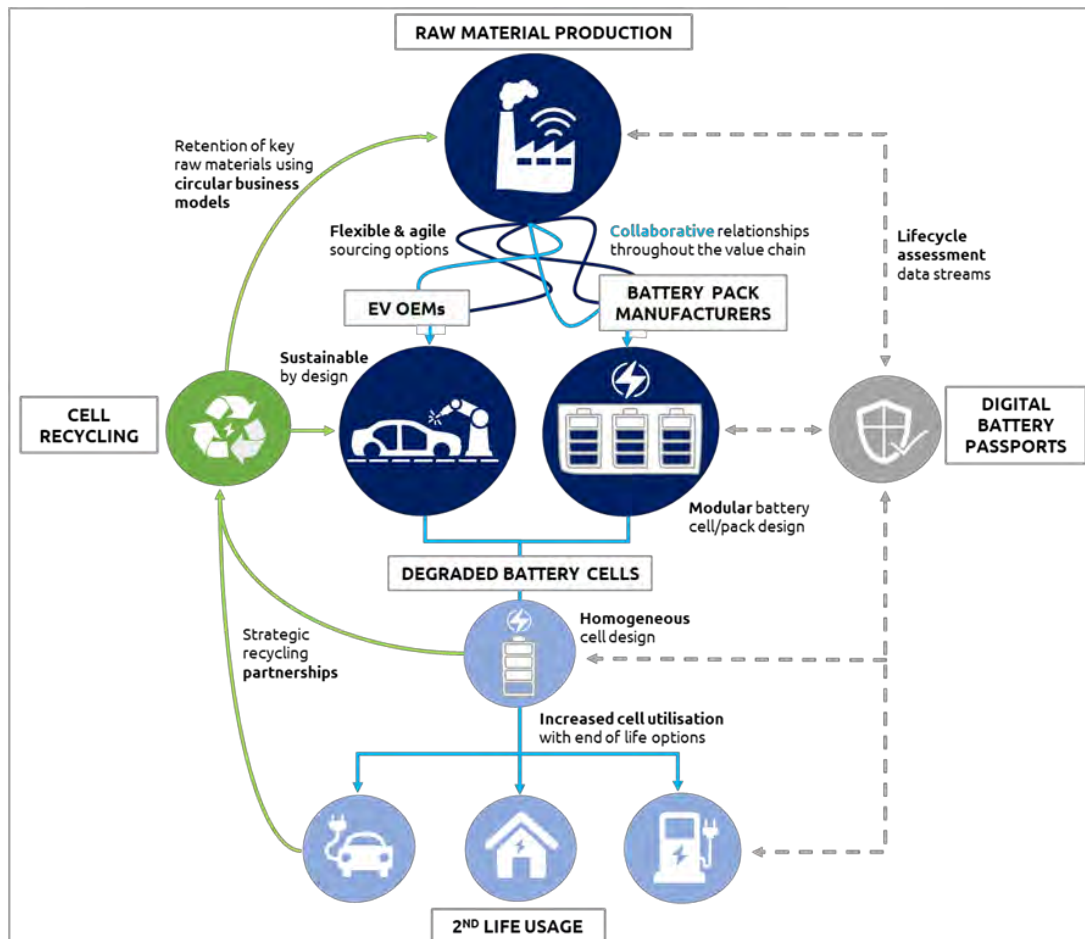


Figura 15. Economía circular de las baterías focalizada en la segunda vida y reciclaje.

Fuente: Roland Berger

En otro ejemplo de cadena de valor circular (**Figura 16**), consultoras estratégicas como Capgemini, enfocan esta cadena como una cadena cruzada entre la cadena de suministro ascendente (productores de materiales críticos, OEMs de coches eléctricos o productores de battery packs), a la que dan más relevancia, y el ciclo de vida futuro de la batería.



**Figura 16. Enfoque de cadena de valor circular para el diseño sostenible de baterías para vehículos eléctricos.**

Fuente: Capgemini

Otro tipo de representación alternativa de la economía circular la proporciona el *diagrama de mariposa* desarrollado por la Fundación Ellen MacArthur. La **Figura 17** muestra un ejemplo de este diagrama, donde se exponen los diferentes ciclos técnicos que tienen como objetivo mantener los materiales, componentes y productos en su máximo valor en todo momento. El tamaño de los círculos representa el uso de recursos adicionales que implica implementar cada acción. Los círculos más estrechos son aquellos con menor necesidad de recursos e impacto ambiental.

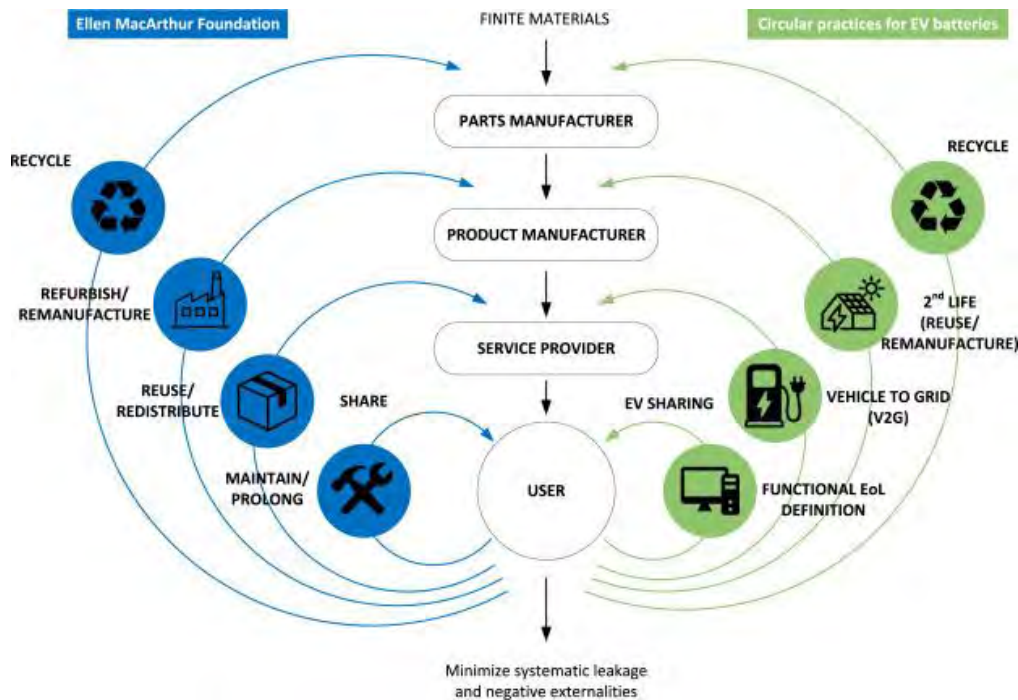


Figura 17. Diagrama de mariposa para la cadena de valor de baterías de vehículos eléctricos.

Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723006023>

Como se ha comentado anteriormente, estas representaciones son visiones simplificadas de una realidad compleja que implica conceptos que, por claridad, no se suelen incluir. Un ejemplo es el concepto de logística inversa, una etapa nada despreciable en el marco del ciclo de vida y que comprende todo el proceso de identificación del punto de fin de vida de una batería, diagnóstico, extracción, testeo, descarga, transporte al punto de procesamiento, desmantelamiento y aprovechamiento -sea en segundos usos, remanufactura o reciclado (Figura 18):



Figura 18. Esquema de proceso logístico inverso.

Fuente: Market Intelligence Report. COBRA EU Project. Marzo 2022

El otro gran concepto que debe ser interiorizado, y que está teniendo una presencia reciente en el discurso de la circularidad es el de **ecodiseño**. Muchas de las baterías que en la actualidad están llegando al final de su vida útil están fabricadas de acuerdo con criterios que primaban la robustez mecánica,

seguridad y facilidad de fabricación, pero que no tenían en cuenta conceptos de ecodiseño. En consecuencia, es frecuente encontrarse con baterías con piezas soldadas, atornilladas, remachadas o adheridas, cuyo desensamblaje -incluso parcial- implica mano de obra y recursos especializados, con una serie de riesgos potenciales de seguridad. Todo esto hace inviable en la práctica proceder a una separación de componentes de manera segura y económicamente viable.

En consecuencia, resulta fundamental que las baterías sean diseñadas en origen pensando en facilitar su manipulación, reconfiguración, y en última instancia, desmantelamiento con vistas al reciclado. En la medida que estas operaciones se puedan realizar de manera fácil y segura, podrán automatizarse y en consecuencia abaratar procesos, hacer más competitivas opciones como la segunda vida de las baterías, y separar grandes componentes para su reciclaje y reutilización específicos.

#### 4.1 Desarrollo de la cadena de valor

Como se ha tratado de mostrar, **la cadena de valor circular de las baterías es muy amplia y da lugar a numerosos retos tecnológicos e industriales que es necesario identificar y caracterizar convenientemente**, para poder identificar oportunidades de negocio para la industria de Gipuzkoa y límite.

El objetivo es, por tanto, realizar una identificación precisa de dicha cadena de valor de las baterías poniendo el acento en los conceptos de ecodiseño, circularidad y que **permita visualizar potenciales nichos de actividad y negocio para la industria del territorio**. La cadena de valor que se propone a continuación podrá servir como base de referencia para las diferentes actividades que se desarrollarán en el marco de la **iniciativa ZIRKULAR BAT – Ecosistema circular de las baterías de Gipuzkoa**.

Bajo estas premisas, en la **Figura 19** se presenta un diagrama de flujo de las etapas más significativas dentro de la circularidad de la cadena de valor de las baterías que refleja la realidad industrial de nuestro entorno. Así, en esta cadena se han dejado a un lado las etapas relacionadas con la materias primas y su extracción o su refinamiento, al considerarse que estas actividades no forman parte del tejido industrial guipuzcoano.

A lo largo de este documento se desarrollarán en profundidad las etapas más relevantes, en particular:

- **Ecodiseño** | ¿Qué se puede hacer para que las baterías sean más duraderas, reutilizables, reparables, reciclables y energéticamente eficientes?
- **Trazabilidad** | Las baterías son sistemas complejos. Por lo tanto, la capacidad de rastrear cada aspecto del proceso de fabricación y distribución de las baterías de EVs es fundamental.



- **Logística** | Diferentes operaciones de manipulación de baterías a lo largo de su cadena de valor. Importante debido a la naturaleza de las baterías, que contienen sustancias químicas, subproductos de reacciones químicas y corriente eléctrica.
- **Fin de la primera vida** | Baterías que han llegado al final de su vida útil y ya no funcionan con capacidad suficiente para una aplicación concreta.
- **Reutilización en segunda vida** | Como extender la vida útil de estas baterías antes de etapas más extremas como el reciclado o deshecho.
- **Diagnóstico** | Necesario para determinar el estado de salud de nuestra batería, tanto durante su uso en primera vida, como al final de su vida útil.
- **Remanufactura** | Descarga, desensamblaje y reconfiguración de nuestra batería.
- **Reciclaje** | Recuperación de materiales o elementos importantes de nuestro sistema. Se presentan las técnicas más importantes, así como sus ventajas y desventajas.



## CADENA DE VALOR SIMPLIFICADA de un Ecosistema Circular de Baterías

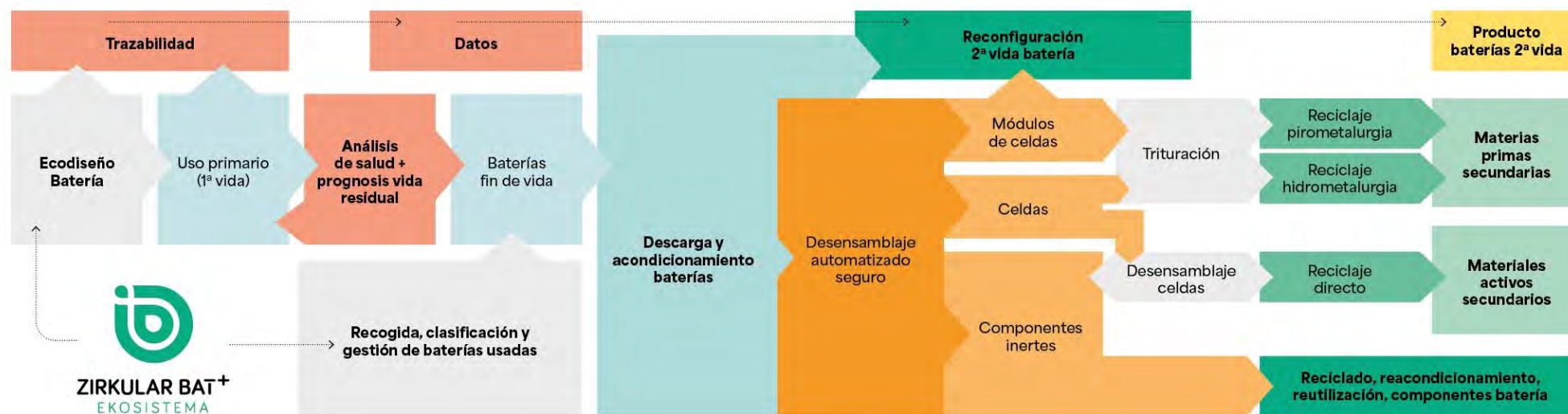


Figura 19. Cadena de valor ZIRKULAR BAT - Economía Circular Baterías.

(Fuente: elaboración propia)

## 5 Análisis de los componentes de la Cadena de Valor Circular de las Baterías

### 5.1 Ecodiseño

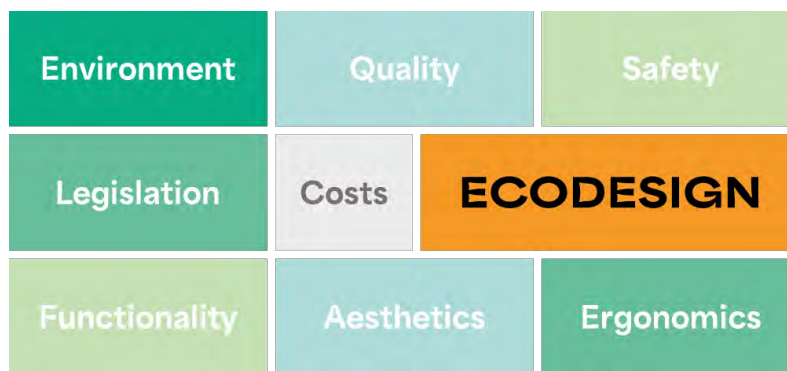
Las estrategias de economía circular son clave para garantizar una transición sostenible hacia la movilidad eléctrica. En este proceso es fundamental considerar criterios de diseño e indicadores de circularidad aplicados al desarrollo de baterías, ya que determinan hasta un 40% del impacto total de los EV.

Esta garantía de sostenibilidad ambiental y económica de las baterías se ha convertido en un requisito necesario del mercado, estimulado por el nuevo *EU Batteries Regulation*. Anteriormente a la nueva regulación, la Comisión Europea planteó en Marzo 2022 una “Propuesta de Regulación para el Ecodiseño de Productos Sostenibles” (*Proposal for an Ecodesign for Sustainable Products Regulation, ESPR*), como parte de la Iniciativa de Productos Sostenibles (*Sustainable Products Initiative, SPI*) dentro del Plan de Economía Circular (*Circular Economy Action Plan, CEAP*). Esta regulación proporciona definiciones y aspectos específicos de ecodiseño para la circularidad dentro del mercado europeo.

**La metodología de ecodiseño tiene como objetivo integrar aspectos ambientales durante el diseño del producto para mejorar su desempeño ambiental a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, incluyendo la reparación, segundos usos y gestión (reciclado) al final de la vida útil del producto.**

Esta definición conlleva la necesidad de incorporar criterios ambientales y de sostenibilidad a los requisitos básicos del diseño de LIBs, como costes, funcionalidad, calidad, fiabilidad y seguridad, entre otros. La integración podría llevar a una reconsideración de algunos de los parámetros, como la minimización de recursos, así como reducción de emisiones y contaminantes, no sólo durante el proceso de fabricación, sino hasta el final de la vida útil del producto.

El **ecodiseño apunta directamente al impacto ambiental, pero también puede afectar a aspectos económicos y sociales en paralelo**. De hecho, estos beneficios económicos y sociales son a menudo consecuencias de la mejora de impacto sobre el medio ambiente. Por ejemplo, una disminución de uso de materias primas críticas tiene un impacto positivo económico (minimización de costes) y social (condiciones de extracción de minerales y metales no reguladas).



**Figura 20. Algunos aspectos a considerar durante el ecodiseño.**

(Fuente: Adaptado del proyecto Europeo ASTRABAT, GA 875029)

Muchas empresas, y también la Comisión Europea a través de diferentes marcos regulatorios, han reconocido el potencial del ecodiseño para su éxito a largo plazo. Por lo tanto, este enfoque desempeña un papel fundamental a la hora de satisfacer las expectativas de los clientes y capacitarlos para elegir productos más ecológicos. También ayudará a aportar datos para futuros requisitos regulatorios para acelerar la transición verde europea. En general, el ecodiseño se tiene que adaptar y aplicar a cada caso específico. Las baterías son, frecuentemente, estructuras complejas, y un diseño de producto circular es de particular importancia.

### 5.1.1 Diseño para la Circularidad y Normativas

El potencial de circularidad de las baterías **se define significativamente al comienzo del ciclo de vida, en el proceso de diseño**. Sin embargo, muchas baterías todavía no están diseñadas para poder repararse, reutilizarse o reciclarse fácilmente; así, si una pieza falla, normalmente se desecha toda la batería. La *EU Batteries Regulation* aborda esta cuestión imponiendo requisitos sobre la capacidad de extracción y sustitución de las baterías. Sin embargo, estos requisitos proporcionan sólo una guía inicial, y por el momento no completa, para implementar un diseño de producto circular. Así, el reglamento no introduce principios de diseño concretos, pero exige información relacionada sobre:

- Desmontaje y desmantelado.
- Repuestos para permitir la sustitución y reparación de baterías y componentes.
- Instrucciones de seguridad para garantizar la seguridad en el manejo de baterías.

Junto con la *EU Batteries Regulation*, la propuesta ESPR mencionada anteriormente proporciona definiciones importantes y aspectos específicos de diseño ecológico para la circularidad. En particular, se deben tener en cuenta los parámetros de diseño de productos circulares introducidos en el ESPR:



**Facilidad de reparación y mantenimiento:** características, disponibilidad y tiempo de entrega de repuestos, modularidad, compatibilidad con repuestos comúnmente disponibles, disponibilidad de instrucciones de reparación y mantenimiento, número de materiales y componentes utilizados, uso de componentes estándar, uso de codificación de componentes y materiales, estándares para la identificación de componentes y materiales, número y complejidad de los procesos y herramientas necesarios, facilidad de desmontaje y reensamblaje no destructivo, condiciones de acceso a los datos del producto, condiciones de acceso o uso del hardware y software necesarios.

**Facilidad de actualización, reutilización en primera y segunda vida, remanufactura y reacondicionamiento:** número de materiales y componentes utilizados, uso de componentes estándar, uso de estándares de codificación de componentes y materiales para la identificación de componentes y materiales, número y complejidad de los procesos y herramientas necesarias, facilidad de desmontaje y reensamblaje no destructivo, condiciones de acceso a los datos del producto, condiciones de acceso o uso del hardware y software necesarios, condiciones de acceso a protocolos de prueba o equipos de prueba no comúnmente disponibles, disponibilidad de garantías específicas de productos remanufacturados o reacondicionados, condiciones de acceso o uso de tecnologías protegidas por derechos de propiedad intelectual, modularidad.

**Facilidad y calidad del reciclaje:** uso de materiales fácilmente reciclables, acceso seguro, fácil y no destructivo a componentes y materiales reciclables o componentes y materiales que contienen sustancias peligrosas, composición y homogeneidad de los materiales, posibilidad de clasificación de alta pureza, número de materiales y componentes utilizados, uso de componentes estándar, uso de estándares de codificación de componentes y materiales para la identificación de componentes y materiales, número y complejidad de los procesos y herramientas necesarios, facilidad de desmontaje y reensamblaje no destructivo, condiciones de acceso a los datos del producto, condiciones para el acceso o uso del hardware y software necesarios.

Estas recomendaciones tienen como objetivo proporcionar información relevante sobre el diseño y así permitir una primera vida útil prolongada de la batería, así como estrategias de segunda y final de vida.



**Figura 21. Oportunidades para un diseño más sostenible.**

(Fuente: informe "Circular Batteries", ARUP)

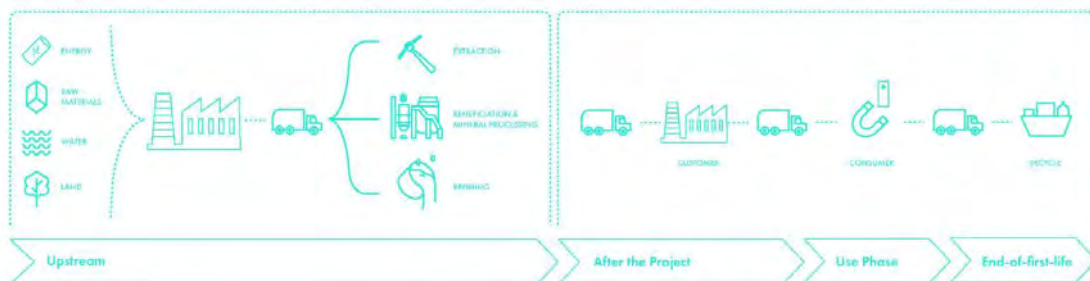
### 5.1.2 Impacto ambiental: Análisis del ciclo de vida (*Life Cycle Analysis*)

Como ya se ha detallado en puntos anteriores, la introducción de la *EU Batteries Regulation* impondrá regulaciones más estrictas a las baterías, por lo que será esencial **evaluar y minimizar el impacto ambiental durante todo su ciclo de vida**. Este enfoque tiene como objetivo garantizar que todas las

baterías comercializadas en el mercado europeo (independientemente de su química), se fabriquen con el menor impacto medioambiental posible.

La metodología de referencia para este tipo de evaluación es el Análisis del ciclo de vida (*Life Cycle Analysis, LCA*). Respaldo por las normas ISO 14040/44, el LCA es una herramienta eficaz y ampliamente utilizada que ayuda a comprender los impactos ambientales de un producto, proceso o sistema mediante la evaluación del impacto ambiental de este producto en cada etapa de su vida, desde la extracción de la materia prima hasta el final de su fabricación, incluyendo su uso o eliminación.

En el caso de las baterías, esto se traduce en evaluar el impacto ambiental de la extracción de minerales (ejem. extracción y refinado de litio, cobalto y magnesio) hasta el reciclaje y la eliminación de baterías para diferentes cadenas de suministro de baterías y de todo tipo. de baterías (Figura 22).



**Figura 22. Cuantificación de los impactos ambientales directos en distintas etapas de una batería y hasta el fin de su primera vida.**

(Fuente: informe de "Intercalation Station", noviembre 2023)

El LCA permite una evaluación holística de los distintos tipos de impacto ambiental. Por ejemplo, las emisiones de gases de efecto invernadero son un impacto ambiental importante que es necesario comprender y mitigar, pero no es el único impacto. Además del potencial de calentamiento global, el LCA también examina aspectos como:

- Huella ecológica del agua o huella hídrica (*water footprint*), incluyendo la huella de escasez hídrica (*water scarcity footprint*) o la huella de disponibilidad hídrica (*water availability footprint*).
- Agotamiento de los recursos no renovables
- Impactos en la salud humana causados por la liberación de partículas en suspensión en el aire
- La posible absorción de sustancias cancerígenas y no cancerígenas
- Impactos en el uso de la tierra
- Impactos a la biodiversidad

En la **Tabla 2** se resume un estudio de la Universidad de Mondragón sobre LCA como metodología de análisis (Picatoste et al; “Circularity and life cycle environmental impact assessment of batteries for electric vehicles: Industrial challenges, best practices and research guidelines”; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 169 (2022) 112941; <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112941>), en el que se presentan los desafíos y mejores prácticas identificadas en literatura sobre estrategias de economía circular aplicables a baterías de EVs.

**Tabla 2. Retos y mejores prácticas identificadas en literatura para mejorar la circularidad de las baterías de EVs usando LCA como metodología de análisis.**

(Fuente: Picatoste et al, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112941>)

Aspectos técnicos para mejorar la circularidad de las baterías de EVs		
Etapa durante la vida de la batería	Desafíos	Mejores prácticas
<b>Materiales críticos</b>	Según la química de la celda, la batería tiene distinto impacto ambiental.	Las baterías que utilizan NMC como material activo del cátodo, son las que mejores resultados medioambientales presentan. Reutilizar y reciclar estas baterías es especialmente eficaz para reducir el impacto del ciclo de vida.
<b>Manufactura</b>	Los procesos de fabricación y la vida útil de una batería son clave en los resultados de un estudio de LCA.	La gestión térmica eficiente de la batería mejora la vida útil, reduciendo significativamente el impacto ambiental.
<b>Transporte</b>	Normalmente no se evalúa apropiadamente esta etapa.	Diseñar una estrategia de transporte eficiente que minimice costos e impacto. Incluir fases de recolección, reutilización y reciclaje en el plan de transporte.
<b>Uso</b>	Las diferencias entre químicas, estructuras y componentes de las baterías plantean desafíos para el mantenimiento y EoL.	Proponer componentes de batería estandarizados para un mejor mantenimiento, reutilización y reciclaje.
<b>EoL (reutilización)</b>	Hay muchas alternativas para usos en segunda vida.	Los escenarios de segunda vida más beneficiosos son reutilizar las baterías como SESS conectadas a RES. Reutilizar la batería como herramienta de arbitraje de energía no es tan beneficioso.



<b>EoL (reciclaje)</b>	El proceso de reciclaje no está optimizado para las baterías.	Establecer un proceso de reciclaje estándar: reciclaje directo de cátodos, con un segundo paso de hidrometalurgia y pirometalurgia al final. Esto puede aumentar los ingresos medioambientales y económicos.
<b>EoL (otras estrategias)</b>	El punto de vista holístico de la economía circular requiere un análisis más profundo de las posibilidades de fin de vida de las baterías (actualización, reutilización y/o restauración).	Es necesario hacer un estudio de viabilidad para cada estrategia de circularidad y compararlo con escenarios tradicionales de fin de vida (reciclaje/vertederos) para determinar la eficiencia de los recursos y las mejoras ambientales.
<b>Directrices para estudios de LCA que integren estrategias de circularidad de las baterías de vehículos eléctricos</b>		
<b>Etapas del LCA</b>	<b>Desafíos</b>	<b>Mejores prácticas</b>
<b>Objetivos</b>	<p>La influencia de factores como el peso de la batería, la densidad energética o la eficiencia son difíciles de evaluar en un LCA que no integra la fase de uso.</p> <p>La elección de la unidad funcional (<i>functional unit, FU</i>) reduce la capacidad del LCA para analizar y comparar el ciclo de vida de LIB, sobre todo en escenarios de reutilización.</p> <p>El análisis de escenarios de uso y EOL no están estandarizados.</p>	<p>Se recomienda un LCA completo para evaluar el efecto de las estrategias de economía circular en los impactos totales del ciclo de vida.</p> <p>Por ejemplo, la unidad funcional de “1 kWh de energía entregada” se relaciona mejor con el rendimiento de la LIB que con las características físicas de las baterías (peso, capacidad) y puede respaldar el análisis en escenarios de segunda vida.</p> <p>Establecer métodos estandarizados para el LCA. Pasos comunes para la distribución de cargas para el primer y segundo ciclo de uso, así como para el reciclaje.</p>
<b>Inventario</b>	Falta de inventarios de alta calidad: poca disponibilidad de	Creación de inventarios del ciclo de vida completos y actualizados para que los

	datos primarios combinada con inventarios secundarios disponibles.	profesionales de LCA puedan acceder y realizar estudios de libremente.
<b>Evaluación y análisis</b>	Los resultados del LCA se presentan en pocas categorías y no están estandarizados. La comparación entre diferentes estudios es difícil y cuantas menos categorías se analicen, mayores serán los riesgos de desviaciones del impacto ambiental.	Seguir, por ejemplo, la guía del PEFCR ( <i>product environmental footprint category rules</i> ) para baterías, utilizado para presentar resultados en todas las categorías recomendadas, con sus unidades correspondientes.
Interpretación	En los estudios de LCA de baterías de EVs no se suele valorar la evolución del mercado con el tiempo.  No existen estudios que fusionen los indicadores de circularidad con los impactos de un estudio de LCA.	Incluir la dimensión temporal en la evaluación, concretamente en la demanda energética o escasez de recursos provocada por la evolución del mercado de BEV, así como los avances tecnológicos esperados en estos campos.  Integrar criterios e indicadores sólidos de economía circular en los estudios de LCA para evaluar adecuadamente la correlación entre circularidad y mejoras ambientales.

### 5.1.3 Tendencias en el ecodiseño hacia una cadena más sostenible

A continuación, se exponen algunas tendencias de sostenibilidad que están ganando impulso en la industria de la cadena de suministro de baterías debido a la entrada en vigor de la nueva regulación:

**Due diligence, transparencia de la cadena de suministro y trazabilidad.** Los fabricantes OEM necesitan acceder a datos ascendentes y, aunque pueden conocer el origen de las materias primas, es posible que otros aspectos técnicos, sociales o ambientales no se compartan o se pierdan dentro de la cadena de suministro. Por lo tanto, tener acceso a datos confiables y precisos es esencial para promover la sostenibilidad en la cadena de suministro de baterías.

**En la cadena de suministro de baterías, el ánodo y el cátodo se consideran frecuentemente como los principales responsables del impacto ambiental.** Esto puede atribuirse a sus materias primas, reactivos y productos químicos utilizados en la producción de ellos componentes, así como la energía utilizada en este procesado. Así, los procesos de refino *upstream* tienden a consumir mucha materia prima y/o energía, y esta etapa tiende a tener un impacto más significativo en el producto final. Por lo tanto, el abastecimiento estratégico de materias primas para baterías de bajo impacto puede reducir significativamente la huella ambiental de los *battery pack*.

Más adelante en la cadena de suministro, la energía necesaria para el ensamblaje de celdas y la producción de *battery packs* suele ser la fuente de impacto predominante. Se pueden implementar varias estrategias para reducir este impacto durante la etapa de fabricación, por ejemplo, mediante la transición a configuraciones energéticas más eficientes o la adopción de electricidad renovable cuando sea posible.

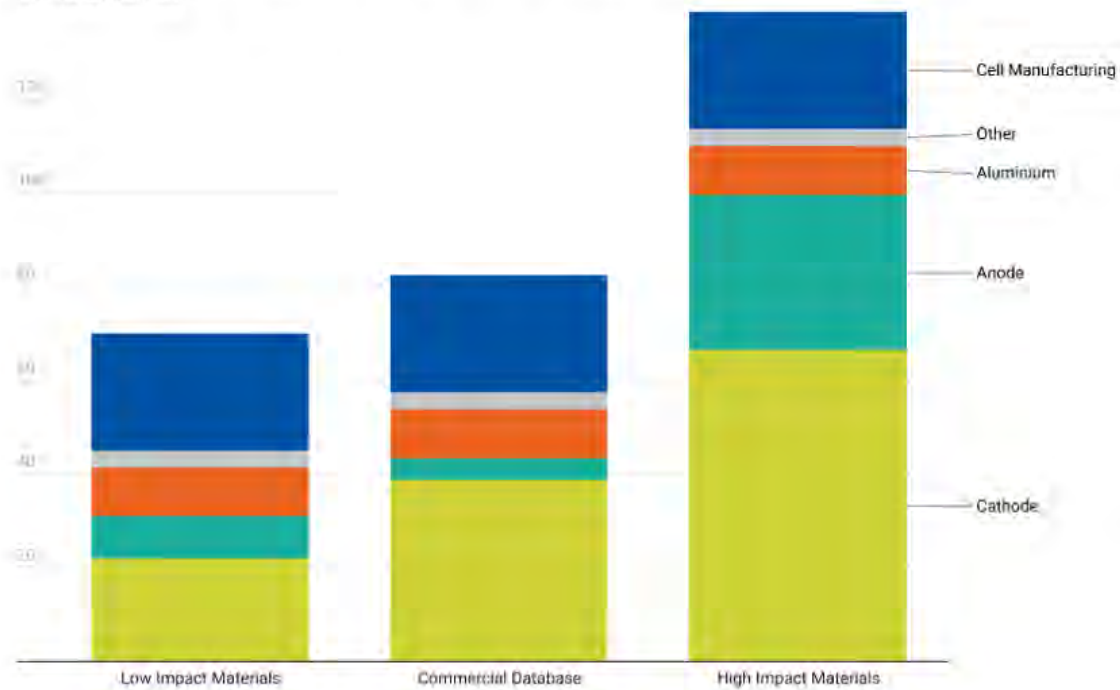
**El impacto medioambiental de las materias primas puede variar significativamente según dónde y cómo se produzcan.** Si las materias primas se producen de forma natural, las condiciones geológicas influirán en los métodos de procesamiento y purificación para alcanzar la calidad necesaria. El uso de productos químicos y energía durante la producción también afectará, en diversos grados, el impacto ambiental de los productos intermedios y finales. Si los materiales se producen sintéticamente, es esencial tener en cuenta el impacto de los precursores del material activo y la energía necesaria para su producción.

Sin embargo, el impacto de las materias primas puede ser difícil de determinar debido a las incertidumbres sobre su extracción y los aspectos geopolíticos. Por ejemplo, el impacto en la producción de grafito sintético apto para baterías es particularmente sensible al tipo de electricidad/energía usada para la grafitización, según provenga o no, de electricidad verde (proveniente de energías renovables). El impacto ambiental puede ser hasta 10 veces menor por Kg usando este tipo de energía de verde (Whattoff, P et al.; Climate Impact of Graphite Production, 2021).

**Datos.** Los modelos de LCA requieren datos exactos y precisos desde la extracción de recursos hasta la fabricación de paquetes de baterías, incluida la producción de precursores y materiales activos catódicos, producción de ánodos, electrolitos y otros componentes de baterías como láminas de cobre y aluminio, o separadores y aluminio estructural. La variabilidad en los parámetros y datos proporcionados por distintas cadenas o fuentes puede dar como resultado cálculos muy variables sobre un mismo producto, tal y como se muestra en la siguiente figura, **Figura 23**.

## Climate Change Impact of NMC-811 Battery Pack

kg CO<sub>2</sub> eq. per kWh



**Figura 23. Diferencias en el cálculo de emisiones (kg CO<sub>2</sub>/kWh) de un battery pack basado en NMC811, tomando distintas fuentes de datos.**

(Fuente: informe de "Intercalation Station", noviembre 2023)

## 5.2 Trazabilidad

La trazabilidad de la información sobre el uso de una batería es crucial para que cualquier operador económico o usuario de una batería de segunda vida pueda identificar el valor residual. Como tal, la recopilación de atributos de datos de rendimiento y durabilidad es información importante para el usuario final y un factor importante para el uso sostenible y circular de la batería. La nueva *EU Batteries Regulation* aborda este tema y exige la disponibilidad de información de la mayoría de los parámetros de rendimiento y durabilidad a nivel de paquete de baterías (*battery pack*). La información a nivel de celda o módulo aún no está contemplada en este reglamento.

En la siguiente figura se resumen los principales datos atribuidos a la durabilidad y desempeño de una batería durante su ciclo de vida para su trazabilidad según la *EU Batteries Regulation*.

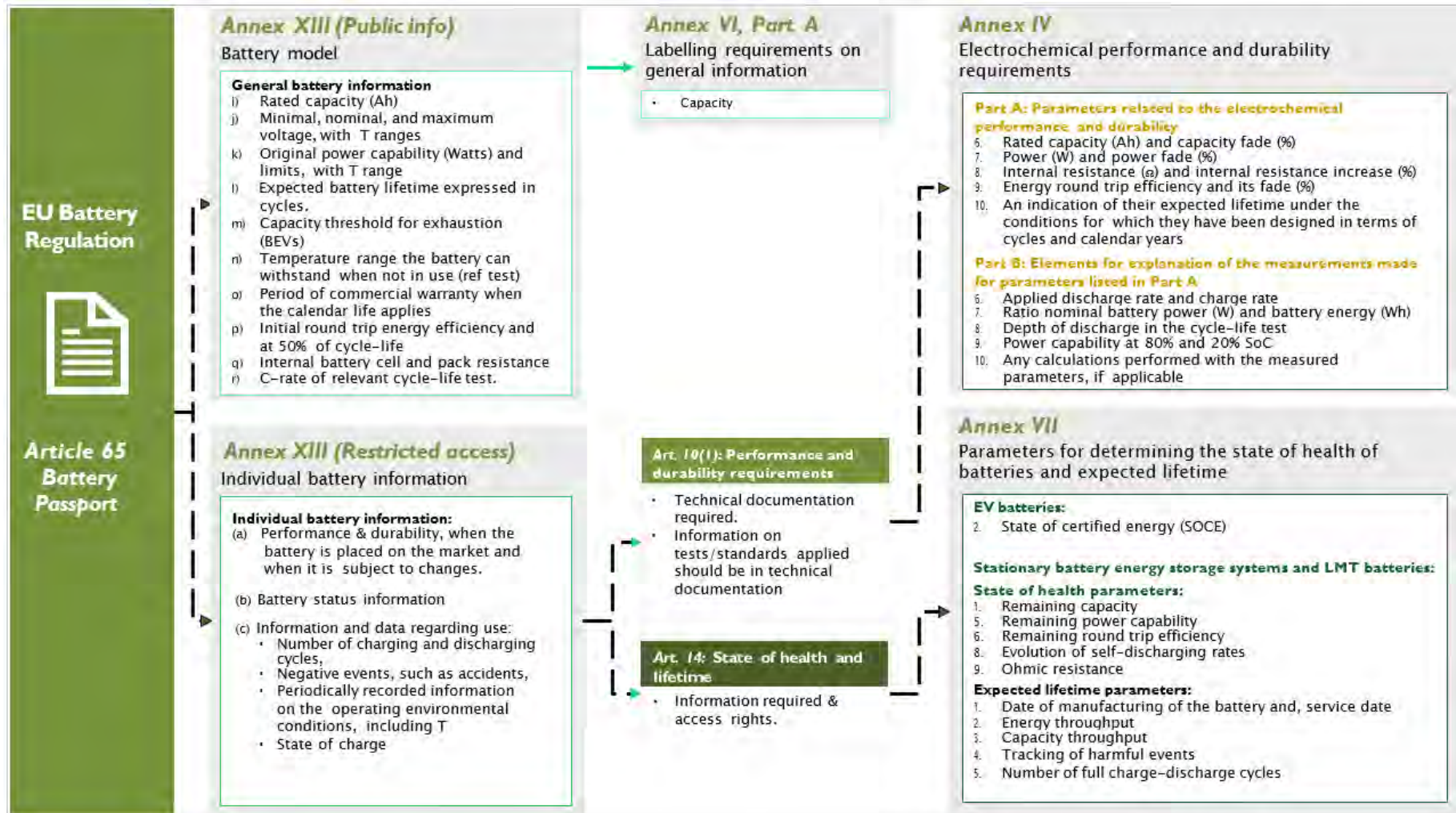


Figura 24. Datos atribuidos a la durabilidad y desempeño de una batería durante su ciclo de vida para su trazabilidad según la regulación de baterías. (Fuente: adaptado del Battery Pass Project)

## 5.3 Logística y gestión

### Importancia de la gestión integral de las baterías EoL

Por regla general, se considera que una batería de un vehículo eléctrico ha llegado al final de su primera vida útil cuando llega a un estado de salud del 70 u 80%, es decir, que la batería es capaz de aceptar carga sólo hasta un 70 u 80% de la capacidad inicial, momento a partir del cual se procede a su reemplazo. Este valor residual de capacidad inicial puede ser aún útil en otro tipo de aplicaciones de almacenamiento de energía menos exigentes, en la denominada segunda vida de las baterías, que se trata más adelante en este informe.

Por otro lado, el reciclaje de los materiales de una batería al final de su vida útil operativa reduce el impacto ambiental (energía, emisiones de CO<sub>2</sub>) de su ciclo de vida, al producir un menor impacto que la minería original de las materias primas. El impacto de estos materiales se puede estimar conociendo la evolución proyectada de vehículos eléctricos en un mercado particular, y haciendo suposiciones conservadoras sobre el peso promedio (250 kg) y el volumen promedio (1/2 metro cúbico) de un *battery pack* en un vehículo eléctrico de pasajeros.

Se espera que para 2031 se instalen en Europa alrededor de 80 GWh de almacenamiento de energía a escala de red. Al mismo tiempo, **sólo en 2030, se espera que en Europa estén disponibles para su recogida 25 GWh de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil.** A largo plazo, las baterías para vehículos eléctricos de segunda vida podrían contribuir aún más a este mercado. **En 2030, se espera que se implementen alrededor de 500 GWh de nuevas baterías para vehículos eléctricos,** que alcanzarán su fin de vida entre 10 y 15 años después. A nivel global, **los desechos de los packs resultantes ascenderán a 3 millones de toneladas y 6 millones de metros cúbicos en 8 a 10 años (2029-2032),** cuando las baterías de esos vehículos lleguen al final de su vida útil.

La cadena de la gestión de las baterías, incluyendo la gestión de los futuros residuos, debe comenzar mucho antes del final de su vida, desde el momento de la introducción de la batería en el mercado, estableciendo ciertas medidas de estandarización y trazabilidad. Así, para poder gestionar de manera eficiente y sostenible la esperada *avalancha* de baterías procedentes de todo tipo de EVs; la regulación de este tipo de baterías en un marco legislativo es fundamental.

### Gestión y logística dentro de la *EU Batteries Regulation*

El operador económico, al poner en servicio una batería en el mercado, tiene la responsabilidad de cumplir los requisitos establecidos en la *EU Batteries Regulation*, incluyendo la creación de un *Battery Passport*, así como garantizar que los datos estén actualizados.



Una vez creado el pasaporte de la batería original (primera vida), la batería se someterá a determinadas operaciones a lo largo de su ciclo de vida (por ejemplo, mantenimiento, remanufactura o reparación) que requieren modificaciones de atributos de datos. Dependiendo del tipo de operación de manipulación, esto puede implicar una actualización del pasaporte existente o la creación de uno nuevo. Sin embargo, durante las reparaciones, se pueden diferenciar dos casos:

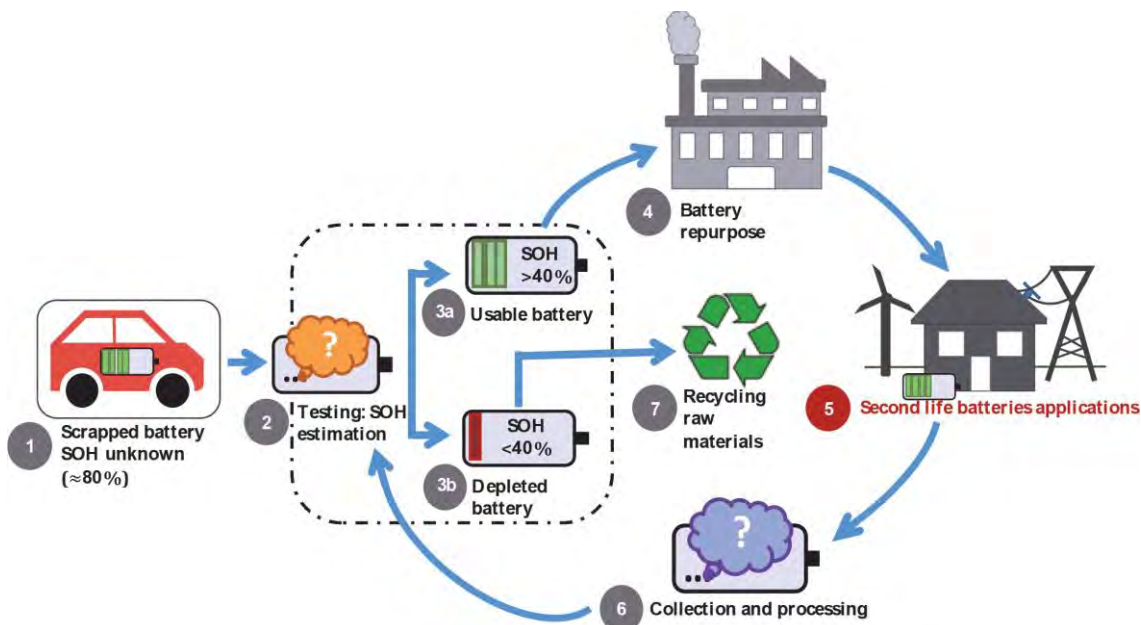
- i. La reutilización (reparación de baterías no desechadas) no exige un nuevo pasaporte.
- ii. La reparación en términos de "preparación para la reutilización" en segunda vida (para baterías de desecho) requiere un nuevo pasaporte.

## 5.4 Diagnóstico durante la vida útil

El campo de la gestión de baterías y la estimación de su estado de salud es crucial para optimizar el rendimiento y la vida útil de las baterías en diversas aplicaciones, incluidas las baterías de EVs. El estado del arte en el diagnóstico y pronóstico de baterías evoluciona continuamente a medida que surgen nuevas investigaciones y tecnologías. A continuación, se describen los conceptos más relevantes para la realización de este diagnóstico.

### Diagnóstico de estado de salud de una batería, SoH (*State-of-Health*):

- **Método de conteo de Coulomb:** este método estima el estado de carga de la batería midiendo la corriente que entra y sale de la batería a lo largo del tiempo. Es una técnica simple y ampliamente utilizada, pero puede sufrir problemas de precisión debido a factores como el envejecimiento y los efectos de la temperatura.
- **Métodos basados en el voltaje:** monitorear el voltaje de los terminales de la batería es un enfoque común. Las características de voltaje pueden indicar el SoH, pero este método puede no ser muy preciso ya que está influenciado por varios factores como las tasas de descarga y la temperatura.
- **Impedancia via espectroscopia:** Esta técnica mide la impedancia de la batería a diferentes frecuencias para evaluar su estado. Proporciona información valiosa sobre la resistencia interna y el desvanecimiento de la capacidad, lo que lo hace útil para la estimación de SoH.
- **Enfoques basados en modelos matemáticos:** estos métodos utilizan modelos matemáticos que representan el comportamiento de la batería a lo largo del tiempo. Los filtros de Kalman, los filtros adaptativos y las redes neuronales son algunas de las técnicas basadas en modelos que se utilizan para diagnosticar el estado de la batería.



**Figura 25. Valores típicos de SoH dentro de la cadena de valor. Para su primer uso como BEV, se considera su vida útil hasta alcanzar un SoH = 80%.**

(Fuente: Montoya-Bedoya et al; "Critical Review of SOH/RUL Estimation Methods for Second-Life Batteries", DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91257> ).

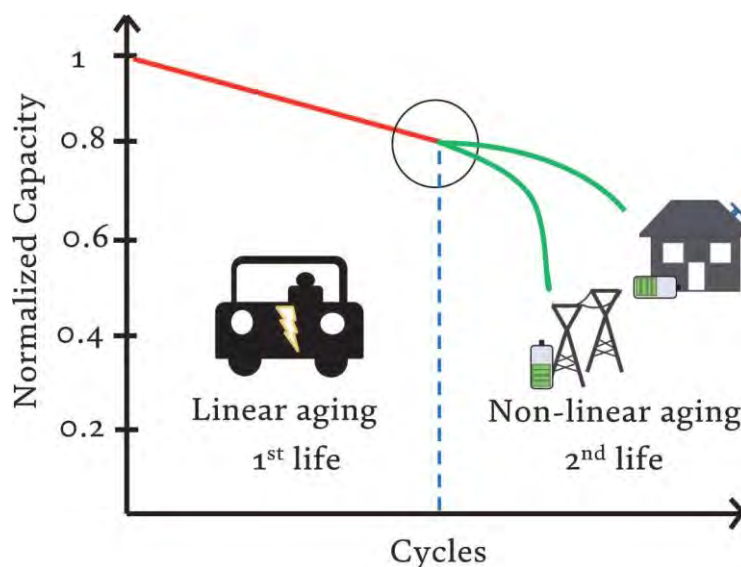
#### Pronóstico del EoL (*End-of-Life*) de la batería:

- **Análisis de desvanecimiento de capacidad (capacity retention):** monitorear la reducción en la capacidad de la batería a lo largo del tiempo puede proporcionar información sobre su EoL. A medida que disminuye la capacidad, la capacidad de la batería para almacenar energía disminuye, lo que eventualmente lleva al final de su vida útil.
- **Análisis del ciclo de vida:** El ciclo de vida de la batería se refiere al número de ciclos de carga y descarga que puede realizar antes de que su capacidad caiga a un umbral específico. El análisis de los datos del ciclo de vida puede ayudar a predecir el EoL de la batería.
- **Modelos de envejecimiento:** se utilizan varios modelos de envejecimiento empíricos y basados en la física para predecir la vida útil restante de la batería en función de factores como patrones de uso, condiciones ambientales y temperatura.
- **Técnicas de aprendizaje automático:** la inteligencia artificial y los algoritmos de aprendizaje automático se pueden aplicar a los datos históricos de rendimiento de la batería para predecir su EoL. Estos modelos pueden capturar patrones y factores complejos que afectan la degradación de la batería.
- **Pruebas de estrés:** Someter las baterías a pruebas de envejecimiento acelerado en diferentes condiciones puede ayudar a determinar sus puntos de falla y estimar el EoL.

Definir el final de la primera vida útil de una batería se refiere a determinar cuándo la batería ya no es adecuada o eficiente para su aplicación original. Es un aspecto fundamental a la hora de gestionar los ciclos de vida de las baterías e iniciar acciones adecuadas, como el reciclaje o la consideración de aplicaciones de segunda vida. Varios métodos y criterios pueden ayudar a definir el final de la primera vida útil de una batería:

- **Desvanecimiento de capacidad:** El desvanecimiento de capacidad es una reducción gradual en la capacidad de una batería para mantener una carga con el tiempo. Un enfoque común para definir el final de la primera vida útil de una batería es establecer un umbral de capacidad específico. Una vez que la capacidad de la batería cae por debajo de este umbral, es posible que ya no sea eficiente o adecuada para su aplicación principal.

En EVs, las baterías alcanzan su EoL cuando alcanzan un estado de salud (SoH) del 80% y donde la degradación de la capacidad es aproximadamente lineal hasta este umbral de SoH, como se muestra en la anterior figura. Después de este punto, el envejecimiento, cambios de comportamiento y no linealidades comienzan a aparecer.



**Figura 26. Curva ilustrativa de degradación de capacidad para una batería de iones de litio convencional (LIB) en su primera y segunda vida.**

(Fuente: Montoya-Bedoya et al; "Critical Review of SOH/RUL Estimation Methods for Second-Life Batteries", DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91257> ).

- **Vida útil:** La vida útil se refiere al número de ciclos de carga y descarga que puede realizar una batería antes de que su capacidad se degrade significativamente. Los fabricantes suelen proporcionar especificaciones sobre el ciclo de vida esperado de sus baterías. Superar este ciclo de vida u observar una caída significativa de la capacidad puede indicar el final de la primera vida.



- **Rendimiento y seguridad:** si una batería ya no cumple con los requisitos de rendimiento de su aplicación principal o presenta problemas de seguridad (por ejemplo, sobrecalentamiento, inestabilidad), se debe considerar para la evaluación del final de su primera vida útil.
- **Período de garantía:** muchas baterías vienen con un período de garantía durante el cual el fabricante garantiza un cierto nivel de rendimiento. El final del período de garantía puede utilizarse como referencia para considerar el final de la primera vida.
- **Consideraciones económicas:** En algunos casos, la decisión de definir el final de la primera vida útil de una batería puede verse influenciada por factores económicos. Si el costo de mantener o reemplazar la batería supera sus beneficios, puede ser el momento de considerar su estado de fin de vida útil.
- **Sistemas de gestión de baterías (BMS):** los sistemas sofisticados de administración de baterías pueden monitorear continuamente el estado y el rendimiento de una batería. Cuando el BMS detecta degradación o anomalías significativas, puede indicar la necesidad de una evaluación del final de su primera vida útil.
- **Recomendaciones del fabricante:** los fabricantes pueden proporcionar pautas o recomendaciones sobre cuándo se debe retirar una batería de su aplicación principal según su química específica y sus patrones de uso.

En resumen, para dar un diagnóstico final sobre el estado de una batería, es esencial basar la **decisión en una combinación de estos factores** y utilizarlos en conjunto en lugar de depender únicamente de un criterio. **Las diferentes químicas y aplicaciones de las baterías pueden tener diferentes características al final de su vida útil**, por lo que es necesaria una evaluación cuidadosa caso por caso.

Una vez que se define que la primera vida útil de una batería ha llegado a su fin, se deben implementar prácticas adecuadas de gestión y reciclaje para manejar la batería de manera responsable, cumpliendo con las regulaciones y estándares ambientales aplicables.

## 5.5 Fin de la primera vida

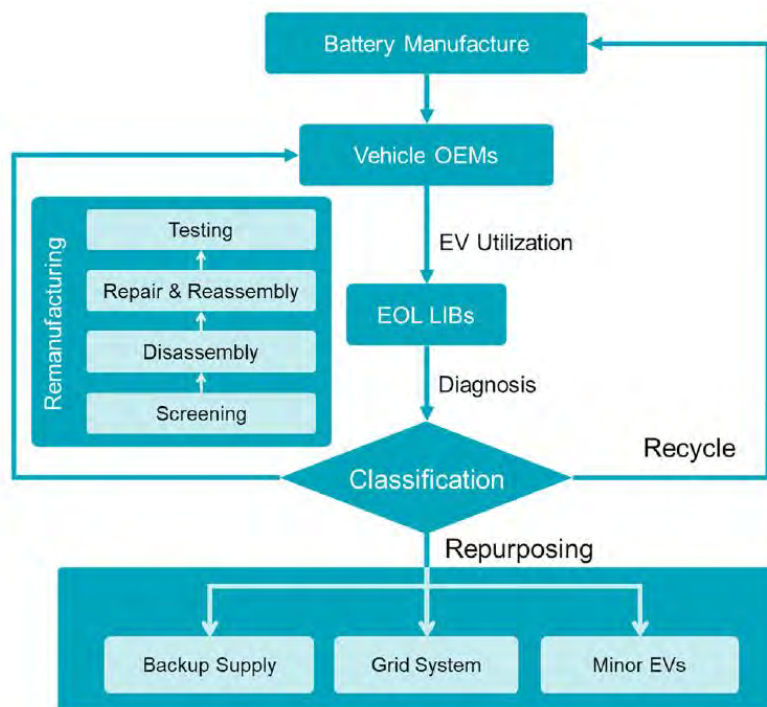
Los vehículos eléctricos pueden recorrer entre 120.000 y 240.000 km a lo largo de toda su vida útil, y el rendimiento de sus LIB se degrada con el tiempo. Por lo tanto, una gran cantidad de LIBs provenientes de EVs se retirarán en un futuro próximo y entrarán en el flujo de residuos.

El tratamiento rentable de estas LIB retiradas incluye remanufactura (*remanufacturing*), reutilización (*reuse/repurposing*) y reciclaje (*recycling*), que se encuentran en diferentes posiciones dentro de esta cadena de valor (**Figura 25**). Esta cadena comienza con la evaluación de la batería, que determina el estado de salud de estas baterías y sus aplicaciones más adecuadas. Este diagnóstico sería complementario al dado durante su 1ª vida, en la que se da un diagnóstico continuo de evaluación de degradación o seguridad.



así como los costes. Las LIB con mayor valoración. Se pueden remanufacturar y reutilizar en aplicaciones de EVs.

Las LIB remanufacturadas deben cumplir todos los requisitos y estándares especificado por los OEM de EVs, como la capacidad disponible, la potencia y el RUL. Debido a las variaciones entre celdas, las celdas dentro del mismo paquete normalmente se degradan a diferentes velocidades. Así, el retiro de un paquete es a menudo causado por el fallo de algunas celdas, que pueden representar sólo una parte pequeña parte de la batería. Con la aplicación de medidas de monitorización y detección, las baterías degradadas se pueden identificar y reemplazar con celdas nuevas o calificadas de otros paquetes. Por lo tanto, un lote de baterías de EV en su final de vida, se pueden convertir en paquetes de LIB más pequeños (remanufactura).



**Figura 28. Esquema de los procesos de remanufactura (remanufacturing) y reutilización (repurposing).**

(Fuente: Y. Hua et al; "Sustainable value chain of retired lithium-ion batteries for EVs"; <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228753>).

Este proceso de remanufactura generalmente incluye una prueba de batería integral (diagnóstico), detección, desmontaje parcial del paquete, retirada y sustitución de celdas degradadas (reparación) y reensamblaje del paquete. Al terminar este proceso, los paquetes se pueden enviar a los OEM o al mercado de repuestos después de un exhaustivo testeo.

Existen iniciativas en algunos países que demuestran que la reparación y remanufactura de baterías puede constituir un nicho de negocio exitoso (ej. INFINITEV).

## 5.6 Reutilización (*reuse/ repurposing*) en segunda vida

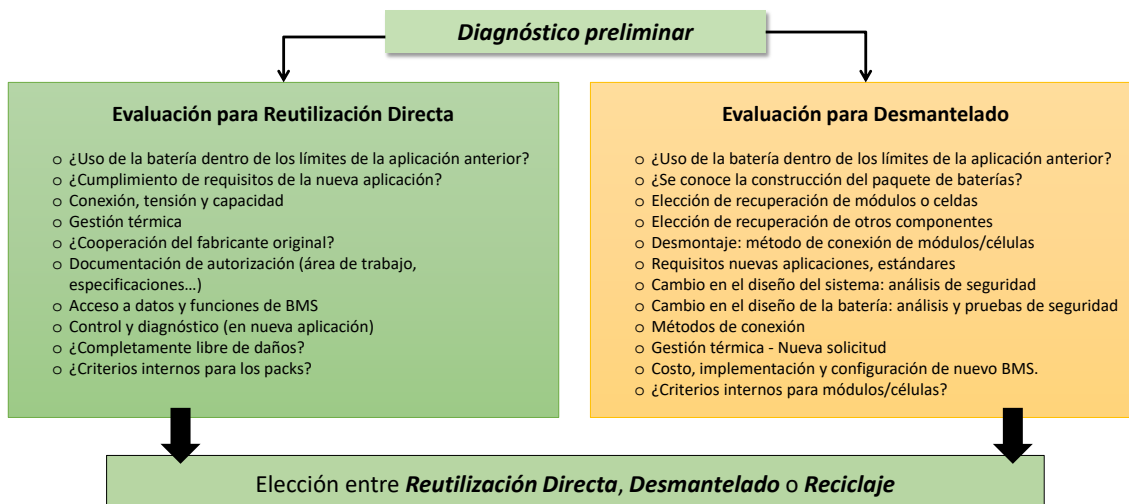
El aspecto de la “reutilización” en la primera y segunda vida de una batería, se está convirtiendo en un tema importante, correspondiente a las descripciones en inglés de *reuse* (reutilización primera vida) y *repurposing* (reutilización en segunda vida).

El proceso de *reutilización* de las baterías se puede dividir en dos partes:

- (i) Fase preliminar en la que se elaboran criterios de selección cuantitativos y en la que se comprueba si es posible la cooperación del fabricante original de las baterías. En esta fase se puede considerar tanto la reutilización directa de todo el paquete, así como su desmontaje antes de su reutilización en segunda vida. Esta etapa preliminar proporciona la base para tomar las decisiones necesarias en el proceso.
- (ii) Diagnóstico. Después de esta fase preliminar se propone un procedimiento de caracterización y selección, optimizando los requerimientos de mano de obra y tiempo, obteniendo la máxima información útil. El objetivo es optimizar y simplificar el proceso de prueba, realizando primero pruebas que no requieran mucho tiempo y omitiendo (si es posible) pruebas en los módulos si el paquete de baterías se valida en su totalidad.

Desde una perspectiva económica y de seguridad, la reutilización directa es mucho más atractiva que el desmantelamiento, pero requiere acceso al BMS, documentación sobre el control de los sistemas internos y, en última instancia, la cooperación del fabricante original.

La reutilización mediante el desmantelamiento es más complicada y se centrará en recuperar módulos en buen estado. La separación de celdas individuales sólo es posible si se ensamblan mecánicamente. En última instancia, la elección depende de la nueva aplicación y del coste.



**Figura 29. Proceso de reutilización en segunda vida: análisis de estado de salud de una batería para su clasificación.**

(Fuente: elaboración propia).

### 5.6.1 Diagnóstico EoL

La evaluación o diagnóstico de la batería al final de su primera vida útil (EoL, “End of Life”) permite evaluar de forma cuantitativa los criterios de evaluación, aportando información útil para la **selección de la aplicación más adecuada para su segunda vida**. Estos criterios incluyen, entre otros, medidas en la resistencia y capacidad de las celdas, la homogeneidad de las celdas dentro de los bloques, los módulos y la batería completa. **Esta evaluación es complementaria al diagnóstico continuo realizado durante la primera vida útil de la batería.**

Cada proceso de reutilización comienza, preferiblemente, con acuerdos con el fabricante original. Si se dispone de documentación y/o herramientas del fabricante original, la evaluación de la batería puede comenzar con:

- Lectura del BMS. Con este proceso, se conoce inmediatamente los voltajes de las celdas individuales y la posible causa de la retirada de la batería en su primera vida (aplicación original). De este modo se pueden identificar los módulos defectuosos antes de abrir el paquete (*battery pack*).
- Comparación de los valores medidos con los valores de referencia a efectos de los criterios de selección.
- Actualización del BMS para adaptarlo a la nueva aplicación/ segunda vida (como consecuencia del diagnóstico). Esto puede implicar un nuevo software, o elementos físicos como fusibles, que deben adaptarse o reemplazarse.

Las baterías recogidas tienen diferente calidad (posibles daños, diferentes capacidades, etc). Por eso, en la fase preliminar se debe considerar que aplicaciones son posibles para esa segunda vida. Normas como la UL1974 ayudan a determinar cuánto tiempo pueden durar las baterías en las aplicaciones previstas.

En la fase preliminar, los valores de referencia para los criterios de selección (internos) se determinan para cada aplicación prevista basándose en los valores de la hoja de datos para el primer uso, consultando con el fabricante original y del plan de medición. La distribución de los 'contenedores' (*bin* en inglés) también se determina para combinar piezas (módulos) de batería equivalentes entre sí. En este sentido, se pueden utilizar los siguientes criterios:

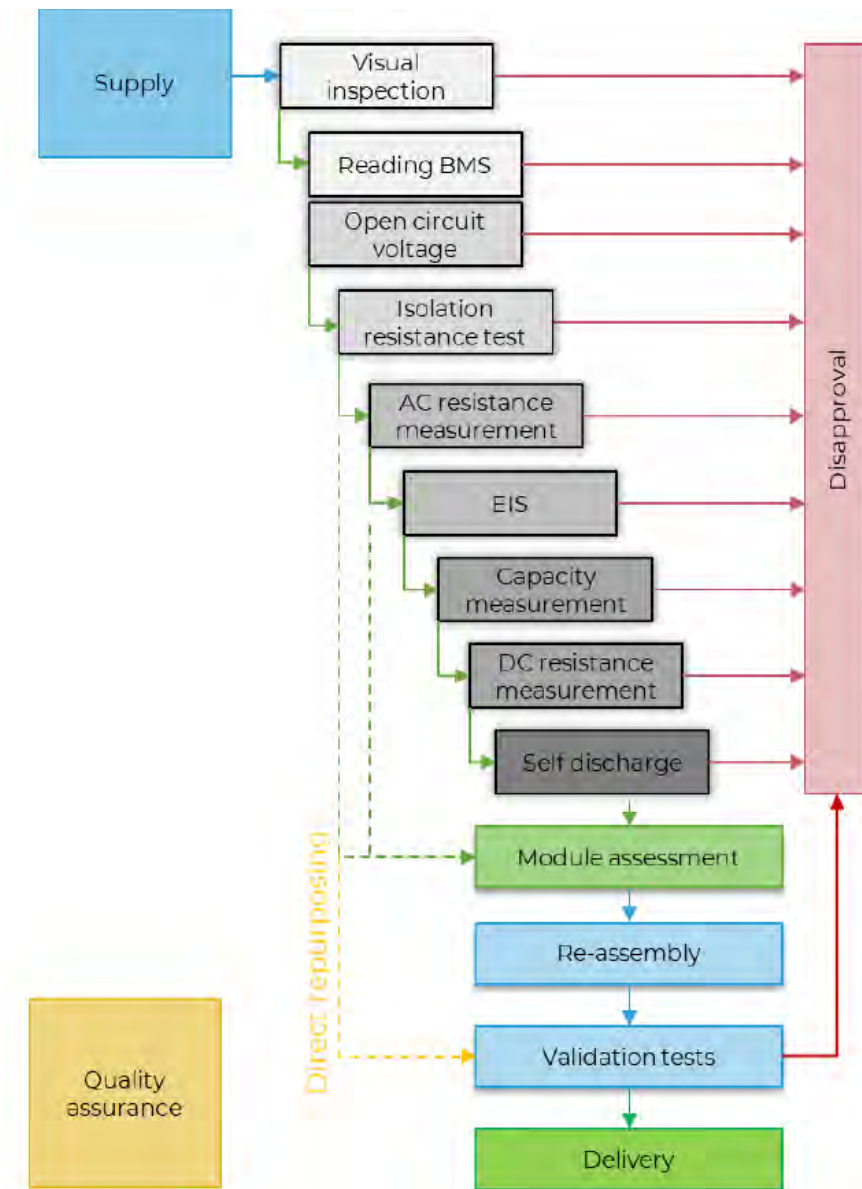
- i. Voltaje máximo y mínimo en circuito abierto (OCV).
- ii. Resistencia interna máxima permitida
- iii. Límite inferior de capacidad
- iv. Distribución máxima permitida del OCV entre celdas de un módulo o en todo el paquete.
- v. Dispersión máxima permitida de la resistencia interna
- vi. Desviación máxima del OCV para clasificar módulos o celdas desmanteladas en el mismo grupo.
- vii. Resistencia de aislamiento entre los terminales de la batería y la carcasa.

En la siguiente tabla se muestran un ejemplo de criterio de clasificación (*binning* en inglés).

**Tabla 3. Ejemplo de criterio de clasificación (A= Reutilización Directa; B=Desmantelado; Recycling). El peor rasgo de una batería determina su categoría; por ejemplo, una batería con un 92% capacidad y una resistencia de 130%, se clasificaría como A2.**

CRITERIO			CLASIFICACIÓN	
Capacidad actual	Resistencia interna	Rango OCV	Aplicación	Calidad
95 – 90 %	100 – 120 %	0 – 5 mV	A	1
90 – 85 %	120 – 150 %	5 – 10 mV	A	2
85 – 80 %	150 – 200 %	10 – 15 mV	B	1
80 -75 %	150 – 200 %	10 – 15 mV	B	2
75 -70 %	150 – 200 %	10 – 15 mV	B	3
< 70%	> 200%	> 15 mV	Recycling	-

De manera general, este diagnóstico preliminar y criterio de selección se podría resumir en el siguiente esquema:



**Figura 30. Proceso de reutilización en segunda vida (Reutilización directa).**

(Fuente: Proyecto Europeo CIRCUSOL, GA 776680; Informe D3.4).

**Nivel de seguridad:**

Los ensayos de abuso de LIB se puede clasificar como mecánico, eléctrico y ambiental y químico. En la siguiente tabla se muestra un resumen de las normas y estándares más populares de seguridad que garantizan la seguridad de conductores y pasajeros. Estas normas cubren la mayoría de los aspectos de seguridad, y riesgos tales como cortocircuito externo, aplastamiento, penetración, calentamiento y anomalías al cargar.

Algunas de estas pruebas de abuso provocan daños irreversibles al BEV. Por lo tanto, es necesario evaluar el desempeño de seguridad del paquete basándose, sobre todo, en métodos no destructivos para apoyar la remanufactura y reutilización.

**Tabla 4. Ejemplos de normas de seguridad para LIBs propuestas por organizaciones internacionales**

(Fuente: Montoya-Bedoya et al; "Critical Review of SOH/RUL Estimation Methods for Second-Life Batteries", DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91257> ).

Test	UL		IEC		SAE	IEEE	
	1642	2054	62,133	62,281	J2464	1625	1725
External short circuit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal charge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Forced discharge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Crush	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Impact	✓	✓		✓		✓	✓
Shock	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Vibration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Heating	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Temperature cycling	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Low pressure (altitude)	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Projectile Drop	✓	✓		✓		✓	✓
Continuous low rate charging		—		✓			
Penetration					✓		
Separator shutdown integrity					✓		
Internal short circuit test	✓						

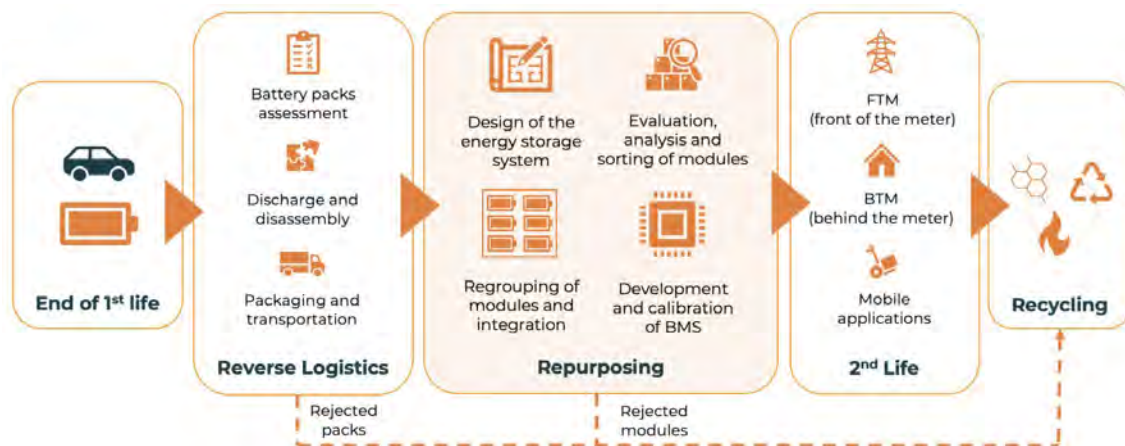
## 5.6.2 Reutilización directa

En un escenario ideal, la batería usada se puede montar sin cambios en la aplicación de segunda vida. Esto significa que la batería industrial se conecta a la nueva aplicación sin necesidad de desmontarla ni modificarla. Dependiendo de la complejidad de la batería, surgen una serie de desafíos relacionados con las dimensiones, el peso, la conexión eléctrica, la comunicación BMS y la gestión térmica de la batería.

Para todos los tipos de reutilización, el equipo necesario para mover las baterías es una cuestión relevante. Generalmente se pasa por alto cómo el peso afecta el flujo logístico interno; por ejemplo, la máquina utilizada para levantar una batería de 150 kg y una batería de 715 kg no es la misma y tienen diferentes requisitos y permisos.

## 5.7 Remanufactura (*remanufacturing*)

Antes de que se pueda dar una segunda vida a las baterías EoL de primera vida, es necesario encontrar la planta de tratamiento adecuada para reutilizarlas o reciclarlas. La recogida y el transporte de baterías de vehículos eléctricos usados al lugar adecuado para recibir el tratamiento adecuado después de su primera vida se denomina "**logística inversa**" (*reverse logistics*). Este proceso incluye varias actividades, como el análisis de datos históricos del paquete de baterías y el desmontaje de los paquetes en módulos. La siguiente figura muestra un ejemplo de estas etapas.



**Figura 31. Proceso de reutilización y segunda vida útil de las baterías.**

Fuente: Market Intelligence Report. COBRA EU Project. Diciembre 2022

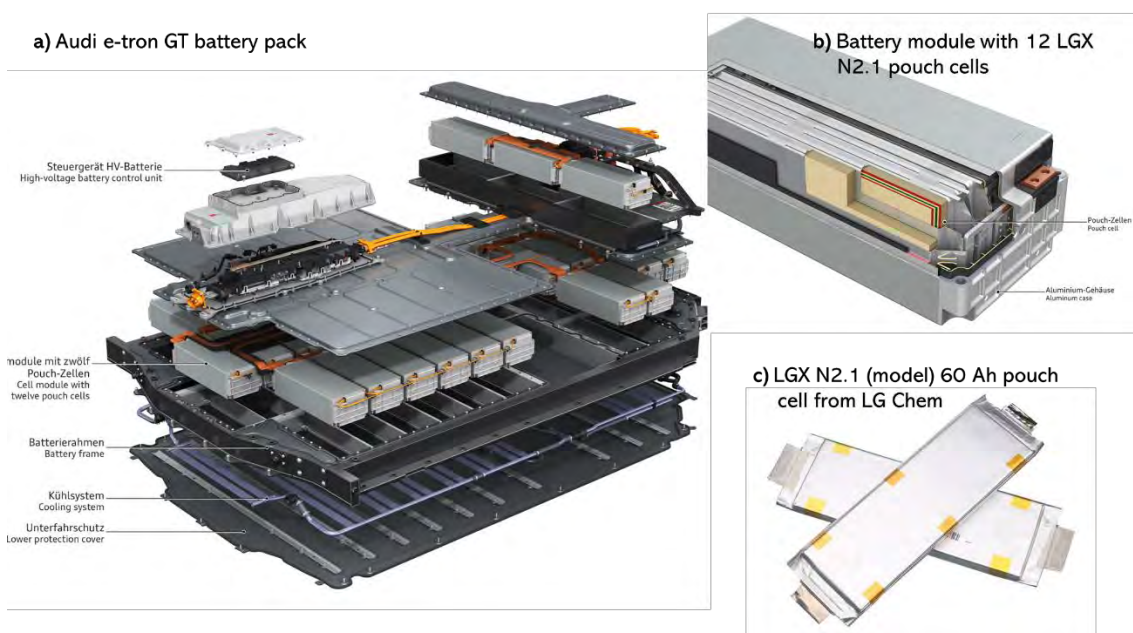
El proceso de remanufactura (**Figura 31**), etapa siguiente a la logística inversa, es un proceso complejo que generalmente pasa por las siguientes cuatro fases: diseño, evaluación, reensamblaje e instalación del BMS. Dependiendo del modelo de negocio del *reutilizador* y de la aplicación de segunda vida esperada, los procesos se pueden realizar a nivel de paquete, módulo o celda.

### 5.7.1 Logística Inversa: clasificación (*sorting*) y desmantelamiento (*dismantling*)

**Clasificación (*sorting*).** Debido a que los diferentes tipos de baterías están hechos de diferentes materiales, no todas pueden desmantelarse y/o reciclarse de la misma manera. Por ello, una clasificación preliminar es necesaria. Actualmente, las baterías desechadas por los usuarios se suelen recolectar en contenedores de tamaño relevante, y son llevadas a puntos autorizados de clasificación y desmantelamiento. Dependiendo del tamaño o química, hay varios tipos de clasificación (manual,

magnética, mecánica o electrónica), pero, en general, estas técnicas están destinadas a baterías de pequeño tamaño como las pilas de botón, pilas de 9 voltios, pilas de 4.5 V, pilas AA y AAA, C y D.

**Desmantelado (dismantling).** De manera general, una batería de vehículo eléctrico es un sistema muy complejo (**Figura 32**) y está organizada jerárquicamente: en el nivel más bajo se encuentran las celdas individuales, con un electrodo positivo y negativo, un separador, un electrolito y una carcasa interna para las celdas. A continuación, las celdas se agrupan en módulos conectándolos en serie o en paralelo, que a su vez están provistos de una carcasa o fijación mecánica. Los módulos, a su vez, suelen estar conectados en serie y alojados en la carcasa del paquete de baterías junto con sensores, contactores y componentes BMS.



**Figura 32. a) Battery pack de Audi e-tron GT; b) Módulo compuesto por 12 pouch cells de 60 Ah (LG) para baterías de Audi de la serie e-tron; y c) 60Ah celdas pouch de LG para la misma serie de Audi.**

(Fuente: adaptado de AUDI).

El desmantelado es un proceso complejo, que requiere de altas medidas de seguridad. Los pasos de desmontaje incluyen abrir el marco de la batería, quitar las conexiones eléctricas y mecánicas entre los componentes, así como retirar piezas electrónicas auxiliares. Así, el desmontaje de los sistemas de baterías aún requiere participación humana y debe manejarse manualmente. Debido al alto voltaje del paquete, el proceso de desmontaje suele ser peligroso, y requiere técnicos capacitados y equipos especializados. Además, al trabajar con baterías al final de su vida útil, hay una serie de factores de riesgo a tener en cuenta: sobrecalentamiento, incendio, liberación de gases (algunos tóxicos), inestabilidad (la extinción a veces es complicada debido al riesgo de reencendido), cortocircuito, alta tensión o incluso

explosión. Por todo ello, **el diseño (ecodiseño) de nuevas baterías que incluya químicas, materiales, embalajes o sistemas más simples, que mejoren y faciliten este proceso**, es de especial importancia.



**Figura 33. Pasos generales para el desmantelamiento de una batería EV.**

*(Fuente: adaptado de SORBAT).*

En general, del desmantelamiento se puede dividir en los siguientes pasos (**Figura 33**):

**Paso 1 | Preparación.** Antes de empezar a trabajar sobre la batería, se asegura que no se haya movido durante días (normalmente 3) y que su temperatura se haya mantenido igual a la temperatura ambiente durante al menos estos días. Si la batería es inestable, se aplicarán medidas especiales que se decidirán caso por caso. Estas pueden incluir su descarga profunda antes de desmontarla.

**Paso 2 | Abrir la carcasa.** Normalmente un operador desenrosca la funda protectora que rodea la batería y retira el adhesivo o la silicona. A menudo también hay que retirar componentes eléctricos y cables para refrigerantes líquidos (refrigeración) o aire (ventilación). Durante estos dos primeros pasos, se hace seguimiento del voltaje y temperatura.

**Paso 3 | Extracción de celdas y componentes.** Para reducir el voltaje y lograr un procesamiento seguro, los conectores, módulos/celdas y otros componentes se retiran gradualmente del paquete de baterías, hasta la retirada de todas las celdas y módulos. Se toman mediciones de tensión y temperatura durante el proceso de desmontaje.

**Paso 4 | Después del desmantelado.** Una vez que la batería se ha desmontado por completo, se vuelven a empaquetar las celdas. Las celdas que no muestran ninguna desviación con respecto a la temperatura ambiente se pueden almacenar de forma segura. Las celdas que muestren una desviación se almacenarán

en un área especialmente segura y monitoreada. A partir de aquí, las celdas se transportarán (normativa ADR) a un reciclador o a un proveedor de segunda vida.

### 5.7.2 Reconfiguración (*re-assembly*)

Según los resultados de la fase de evaluación (diagnóstico), los módulos de batería se agrupan para tener aproximadamente el mismo SoH, optimizando el rendimiento de la batería. Esto también permite utilizar un equilibrio pasivo, que es una forma menos costosa de gestionar el uso de la batería en comparación con el equilibrio activo. Aún así, clasificar los módulos usados y la posterior gestión de las baterías reutilizadas sigue siendo un desafío. El estado de la batería difiere mucho según factores como el clima operativo, el estilo de conducción y el comportamiento de carga durante la primera vida útil de la batería del vehículo eléctrico. Las celdas de segunda vida también tienen una mayor probabilidad de fallas de seguridad (por ejemplo, generación de gas, revestimiento de litio, formación de dendritas), que deben mitigarse.

Por otro lado, cuando se implementan celdas o módulos en una aplicación de segunda vida, las especificaciones de esa batería resultante serán relativamente más bajas que cuando se usan en la aplicación original. El montaje del nuevo pack dependerá de los requisitos de la nueva aplicación. Dado que el coste de las baterías nuevas es (relativamente) cada vez menor, es necesario encontrar un cierto equilibrio entre estos requisitos y la rentabilidad de su reutilización. Un paquete recién ensamblado también necesitará un nuevo BMS, nuevo cableado (para la alimentación de la batería, pero también la señalización), contactores, fusibles, etc. El coste de todo eso, junto con la conexión (principalmente manual) y el tiempo de construcción necesarios, puede eclipsar rápidamente el coste de adquisición de las celdas.

### 5.7.3 Uso en segunda vida

El uso de baterías de segunda vida puede ser una opción ambiental y económicamente viable, siempre que se cumplan ciertas condiciones. Decidir sobre la viabilidad del uso de una batería en una segunda vida implica considerar varios factores:

- **Estado y capacidad de la batería:** La batería debe tener suficiente capacidad y estar en buen estado para ser considerada para aplicaciones de segunda vida. Es posible que las baterías que han experimentado una pérdida significativa de capacidad o envejecimiento no sean aptas para su reutilización.
- **Consideraciones de seguridad:** La seguridad es primordial al reutilizar baterías. Las pruebas y evaluaciones exhaustivas de los aspectos de seguridad de la batería son cruciales para evitar peligros potenciales.



- **Compatibilidad con la segunda aplicación:** las características de rendimiento de la batería deben alinearse con los requisitos de la segunda aplicación. Diferentes aplicaciones pueden tener demandas específicas de potencia y energía que la batería debe satisfacer.
- **Viabilidad económica:** analizar la rentabilidad del uso de segunda vida. El costo de reutilizar, probar e integrar la batería en la nueva aplicación debe justificarse frente a los beneficios obtenidos.
- **Impacto Ambiental:** la reutilización de baterías puede reducir los residuos y promover prácticas sostenibles.
- **Consideraciones regulatorias y legales:** garantizar el cumplimiento de las regulaciones locales y los estándares de seguridad para el uso de baterías reutilizadas en la segunda aplicación.

Las posibles aplicaciones de segunda vida para baterías usadas incluyen:

- **Sistemas de almacenamiento de energía (ESS):** Las baterías reutilizadas se pueden utilizar en aplicaciones de almacenamiento de energía estacionarias, como almacenamiento de energía a nivel de red, almacenamiento de energía residencial o aplicaciones comerciales para almacenar el exceso de energía renovable y proporcionar energía durante los picos de demanda.

**Tabla 5. Categorías de aplicaciones en almacenamiento de energía de baterías de segunda vida.**

Fuente: Market Intelligence Report. COBRA EU Project. Diciembre 2022

Category	Function	Description	2 <sup>nd</sup> life battery considerations
 <b>FTM</b> (Front of the meter) 1 MWh – 1 GWh	Frequency control	Support in maintaining the 50 Hz frequency of the electricity grid by absorbing or providing additional power.	The FTM systems can have a large size, thus it is more economical to be built from battery packs and can utilise lower density battery chemistries. The utility-scale systems have to be additionally certified for safety.
	Power reserve	The battery storage can provide power immediately in response to an unexpected generation outage.	
	Wholesale market arbitrage	Utility-scale energy storage allows to trade electricity on spot market, selling & discharging energy when the demand is high, and purchasing & charging during off-peak hours.	
 <b>BTM</b> (Behind the meter) 1 kWh – 1 MWh	Microgrids	Autonomous operation of the site in island mode, connecting local production with local consumption.	The size of BMT systems is closest to the EV battery packs thus there is a higher number of components that can be reused, e.g., the BMS. Sustainability is the key value proposition for the clients.
	Peak shaving	Limiting the maximum instantaneous power withdrawn from the grid which reduces the electricity bill.	
	Power quality	Optimizing the power factor of the site by reducing the reactive power flow, especially of industrial devices.	
 <b>MOBILE</b> energy storage 1 - 10 kWh	Micromobility	Application in less demanding electric vehicles, e.g., ferries, 3-wheelers, scooters, forklifts.	Due to the space constraint it has to be built from modules or cells, preferably from higher density chemistries. These applications have a lower barrier to entry for start-ups.
	Mobile generators	Small mobile battery packs can provide electricity in remote locations, usually replacing fuel-based generators (e.g., developing countries, outdoor events).	

- *Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS):* Las baterías se pueden utilizar como fuentes de energía de respaldo para sistemas críticos como centros de datos, hospitales o instalaciones industriales.
- *Soluciones fuera de la red:* en áreas remotas o fuera de la red, se pueden emplear baterías usadas para almacenar energía generada a partir de paneles solares u otras fuentes renovables.
- *Estaciones de carga de vehículos eléctricos:* las baterías se pueden reutilizar para estaciones de carga, lo que permite el almacenamiento y la gestión de energía para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos.
- *Aplicaciones industriales:* Las baterías pueden encontrar uso en diversos procesos industriales que requieren almacenamiento temporal de energía o nivelación de carga.

En resumen, al decidir la tecnología de la primera y segunda aplicación, hay que considerar los atributos específicos de la batería (química, capacidad, voltaje, etc.) y los requisitos de la segunda aplicación.

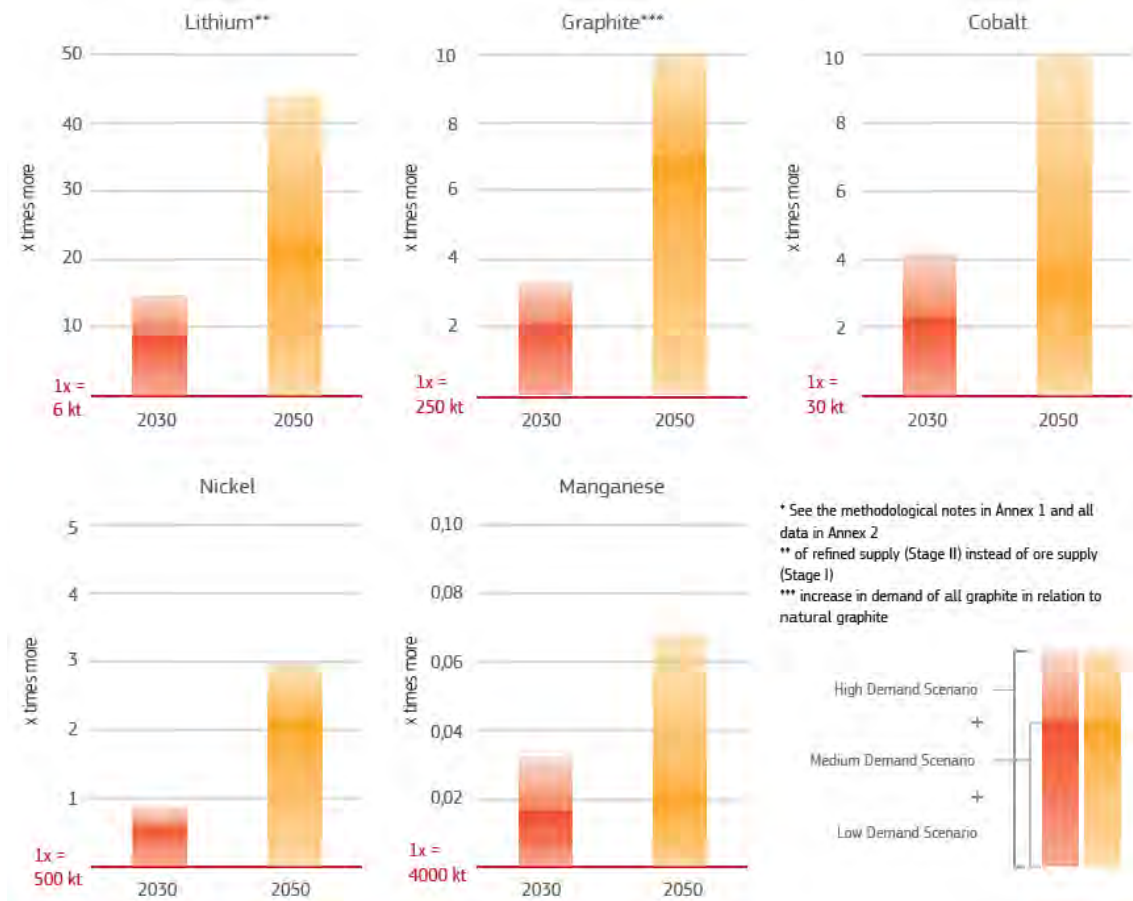
Realizar pruebas y validaciones exhaustivas es esencial para garantizar la idoneidad de la batería para el uso previsto de segunda vida.

## 5.8 Reciclaje (*recycling*)

Para comprender la importancia del reciclaje de baterías, es importante recordar la situación gran demanda de baterías (ver Sección 3 del documento). Esta demanda de baterías también va acompañada de una **mayor demanda de materias primas para baterías**. La seguridad del suministro para Europa a partir de fuentes de materias primas primarias es fundamental para los tres metales: níquel, cobalto y litio (la UE ya ha clasificado el cobalto y el litio como **materias primas críticas**). **Sólo unos pocos países en todo el mundo tienen yacimientos importantes para la minería**. Por ejemplo, una gran parte del cobalto (alrededor del 60 %) proviene de la República Democrática del Congo, donde la minería se realiza (en su gran mayoría) en malas condiciones de seguridad, corrupción y trabajo infantil. En el caso del litio, el principal problema son los problemas ecológicos en la minería. Por un lado, hay que procesar cantidades muy grandes de minerales y, por otro, el proceso de extracción requiere mucha agua. **En promedio, se necesitan 1.900 toneladas de agua para extraer 1 tonelada de litio**. Esto es particularmente crítico porque las áreas mineras de litio más grandes se encuentran en regiones áridas del mundo, como Chile. En Europa, el suministro de níquel se ha visto exacerbado por la crisis de Ucrania y la dependencia de Rusia está provocando actualmente una reducción de las importaciones.

En un contexto de dependencias geopolíticas, así como de aspectos medioambientales y sociales, **el reciclaje de baterías es esencial para garantizar la futura situación del suministro y satisfacer la creciente demanda de materias primas para la producción de baterías**.

La siguiente figura muestra las estimaciones anuales de materiales críticos pronosticadas por la Agencia Alemana de Materias Primas (DERA) para 2030 y 2050, y sólo considerando EVs. Como se observa en los gráficos, e independientemente del escenario escogido, en todos los casos los pronósticos de demanda se espera que se multipliquen por un factor de entre 2- 50 para los casos de litio, grafito y cobalto.



**Figura 34. Demanda de litio: diferentes previsiones para 2030. Escenario 1: LIB (91.7%), EVs (71.5%) / Escenario 2: LIB (88.8%), EVs (61.5%) / Escenario 3: LIB (93.7%), EVs (78.2%)**  
(Fuente: Agencia Alemana de Materias Primas (DERA), Junio 2022).

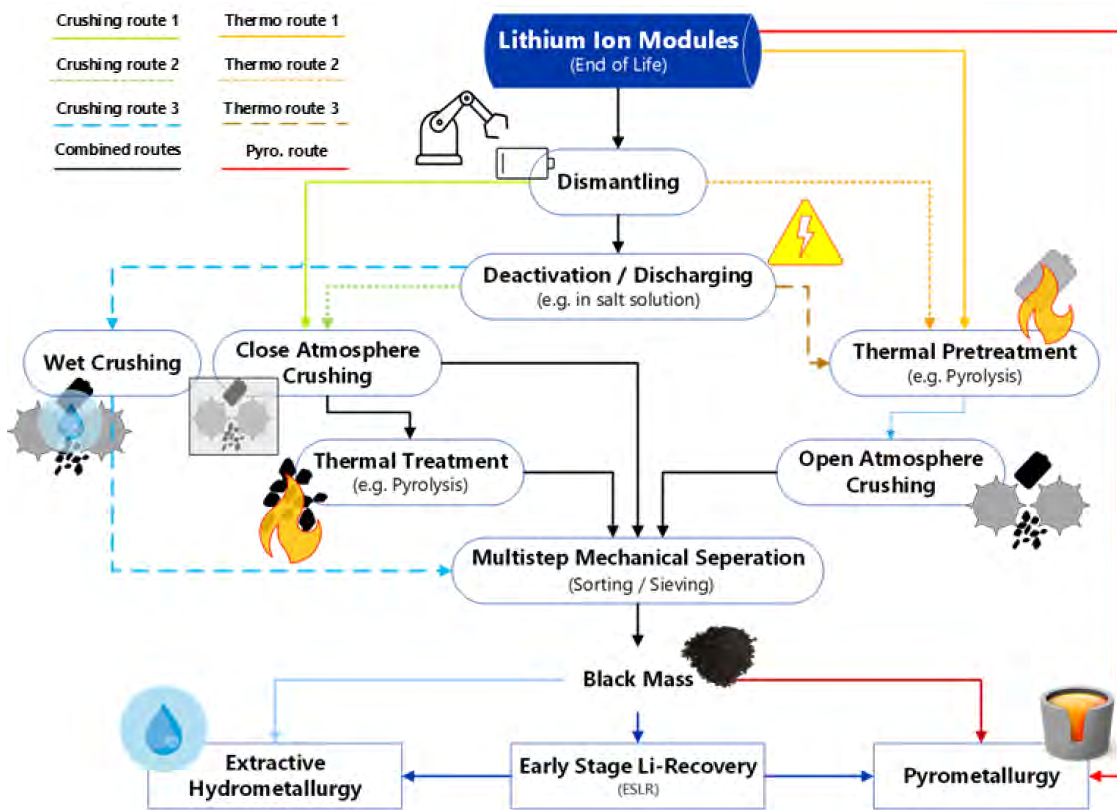
Además de los factores de impulso para el reciclaje de baterías ya mencionados, también existen requisitos legales en la UE, como la ya mencionada *EU Batteries Regulation*. El nivel de ambición para 2031 especifica que el 16 % de cobalto, el 85 % de plomo, el 6 % de litio y el 6 % de níquel deben provenir de residuos recuperados de fabricación de baterías o de residuos posconsumo. Estos números son más ambiciosos para años posteriores.

Todos estos aspectos muestran la importancia del reciclaje de baterías. **Sólo con un concepto de reciclaje satisfactorio, y un ecodiseño apropiado durante el desarrollo de una celda, se puede establecer un ciclo de vida sostenible de la batería.**

### PROCESOS DE RECICLADO MÁS COMUNES UTILIZADOS EN LIB

A continuación, se revisan los procesos de reciclaje actuales para baterías de litio-ion (LIB) convencionales. Es crucial comprender las rutas de proceso y las alternativas ya existentes para su adopción o el desarrollo de nuevas estrategias de reciclaje. En el caso de las LIB, existen diversas opciones y rutas de proceso

diferentes en la industria, y muchas más que se están investigando y desarrollando paralelamente. La siguiente figura ofrece una descripción general de estas posibles rutas.



**Figura 35. Posibles rutas de reciclaje de LIB convencionales.**

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

En términos generales, la **black mass** es el término utilizado para describir un tipo de desechos que comprenden celdas de batería EoL trituradas. Contiene mezclas de metales valiosos que incluyen; litio, manganeso, cobalto y níquel. **Esta mezcla metálica contiene todos los metales valiosos que forman los ánodos y cátodos de la batería (las partes más caras de una batería).** El típico color negro se debe a los materiales activos de los electrodos, que tienen un color negro muy oscuro. La **black mass** representa aproximadamente entre el 40 y el 50 % del peso total de una batería de vehículo eléctrico. Inicialmente, las baterías usadas se recogen, clasifican, descargan y desmontan. A esto le sigue la trituración mecánica, el secado, la clasificación, el tamizado y pirólisis a 700 °C para eliminar cualquier electrolito restante y los componentes que contienen flúor, potencialmente peligrosos para la salud. El material resultante es una mezcla de material que de color negro con motas metálicas plateadas esparcidas por todas partes.



**Figura 36. Black mass de baterías de iones de litio.**

*(Fuente: Aqua Metals).*

En general, el proceso de reciclado se puede dividir en dos grandes partes, en la que la *black mass* representa el punto de inflexión: (i) la primera parte se focaliza en la obtención de esta *black mass*; (ii) la segunda parte, engloba su tratamiento para la recuperación de los metales preciosos.

El reciclaje de baterías se puede dividir en pasos o módulos **de procesos térmicos, mecánicos, hidrometalúrgicos y/o pirometalúrgicos**. En la mayoría de los casos, varios de estos módulos se combinan para lograr la mayor eficiencia de reciclaje posible. A continuación, se describen cada uno de estos procesos.

### 5.8.1 Pretratamientos térmicos

La primera etapa en los procesos de reciclaje es frecuentemente someter a las baterías a un tratamiento térmico. El objetivo es eliminar componentes volátiles y potencialmente peligrosos, fundamentalmente el electrolito, así como otros componentes de naturaleza orgánica (como los ligantes o "binders" presentes en los electrodos) que pueden dificultar etapas posteriores. Esta operación se realiza sobre módulos o celdas completos, previo a una etapa de trituración, tras la cual pueden darse otros tratamientos que nuevamente pueden ser de tipo térmico. Un tipo de tratamiento térmico es el proceso de pirólisis bajo atmósfera inerte.

Durante la pirólisis, el material de entrada se calienta bajo una atmósfera inerte como argón (Ar), nitrógeno (N<sub>2</sub>) o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En el caso de las baterías convencionales que usan NMC como material activo, la temperatura está limitada por el punto de fusión del aluminio, por lo que el rango varía entre 300 y 650 °C. Debido al calentamiento en ausencia de oxígeno, los compuestos orgánicos contenidos se descomponen y volatizan. Esto conduce a la formación de un gas permanente. También son productos

del proceso condensados como el alquitrán y petróleo, o un residuo sólido llamado coque de pirólisis. A través de los gases de escape, se pueden eliminar los compuestos orgánicos y otros componentes volátiles, como los halógenos. Debido a las condiciones controladas del proceso y al tratamiento de los gases residuales, **la pirólisis es un proceso de desactivación seguro para las baterías, especialmente en el caso de celdas con historial desconocido o dañadas**. Este material tratado térmicamente se puede transportar y procesar de forma segura y sencilla en condiciones atmosféricas para recuperar la valiosa masa activa.

Debido a la alta cantidad de compuestos orgánicos y halógenos de los gases de escape, su tratamiento es crucial durante el proceso. Las técnicas más comunes son la post-combustión para los compuestos orgánicos y el lavado húmedo o seco (*scrubbing*) para los componentes ácidos, seguido de una filtración con carbón activado. El calor generado en la post-combustión se puede utilizar para calentar un horno en procesos industriales, haciendo posible un proceso autotérmico. Otras opciones investigadas actualmente, incluyen la condensación de aceites de pirólisis para su uso en aplicaciones petroquímicas.

Además de la eliminación de compuestos orgánicos y halógenos, el proceso de pirólisis tiene como objetivo transformaciones de fase específicas en estado sólido. En el caso de las celdas que usan NMC como material activo, se trata de reducciones de óxido metálico. Esto conduce a la transformación de los óxidos de NMC en, por ejemplo, níquel metálico. Si la masa negra (*black mass*) va a ser tratada posteriormente hidrometalúrgicamente, estas transformaciones son beneficiosas para la eficiencia de lixiviación y la cinética del proceso. Además, se puede reducir el uso del costoso aditivo de lixiviación (peróxido de hidrógeno).

De especial interés son también las posibles transformaciones de fase del litio. Una opción serían las transformaciones de fase a carbonato de litio soluble en agua. La tasa de conversión depende de los parámetros del proceso, sobre todo de la temperatura y tipo de atmósfera. En algunas publicaciones científicas, se reportar resultados optimizados con temperaturas alrededor de 600 °C en atmósfera de CO<sub>2</sub>. Estas condiciones optimizadas en el pretratamiento térmico permiten otras etapas del proceso de reciclado como la recuperación temprana de litio (*Early-stage lithium recovery, ESLR*).

La siguiente tabla resume los beneficios descritos de un pretratamiento térmico con respecto a los siguientes pasos del proceso, como los tratamientos mecánicos o hidrometalúrgicos.

**Tabla 6. Beneficios del pretratamiento térmico respecto al procesamiento mecánico e hidrometalúrgico.**

Tratamientos mecánicos	Hidrometalurgia
Eliminación de electrolito:	Eliminación de electrolitos y aglutinantes:

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sin riesgo de incendio</li> <li>▪ Posible trituración atmosférica</li> <li>▪ Menos corrosión</li> </ul> <p>Eliminación de aglutinantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Delaminación mejorada de los colectores de corriente</li> <li>▪ Mayores eficiencias de reciclaje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayores eficiencias de lixiviación</li> <li>▪ Mejor cinética</li> </ul> <p>Eliminación de halógenos (por ejem., F)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Purezas más altas</li> <li>▪ Mejora de la gestión de aguas residuales</li> </ul> <p>Cambios de fase de óxidos metálicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menos consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> durante la lixiviación (ahorro en costes)</li> <li>▪ Mejor cinética</li> <li>▪ Preparación para la etapa de recuperación temprana de litio</li> </ul>
---	--

### 5.8.2 Tratamientos mecánicos

El objetivo principal de un tratamiento mecánico es la liberación de la valiosa masa activa y la separación de la carcasa y de las láminas metálicas. Puede llevarse a cabo directamente después de un paso de desactivación/descarga o después de un pretratamiento térmico.

El tiempo determina los requisitos que se imponen al aplastamiento mecánico de las celdas. Si primero se lleva a cabo un paso de pretratamiento térmico con eliminación de la materia orgánica, se elimina el riesgo de incendio y explosión de estas celdas, permitiendo la trituración en atmósfera abierta (ej. molinos de corte). Si las baterías deben procesarse mecánicamente directamente, la trituración debe realizarse en condiciones más especiales, como una atmósfera inerte. Los componentes volátiles del electrolito se eliminan mediante secado a bajas temperaturas, normalmente hasta 80 °C y/o en una etapa de destilación al vacío.

Una alternativa es la trituración húmeda en agua o soluciones saladas. En este caso, los elementos orgánicos y solubles como el litio y el flúor se enriquecerán en la solución. Por eso, el tratamiento y gestión del agua es importante, sobre por la formación de ácido fluorhídrico.

Otras opciones incluyen la trituración criogénica, con el inconveniente de un elevado consumo de energía.

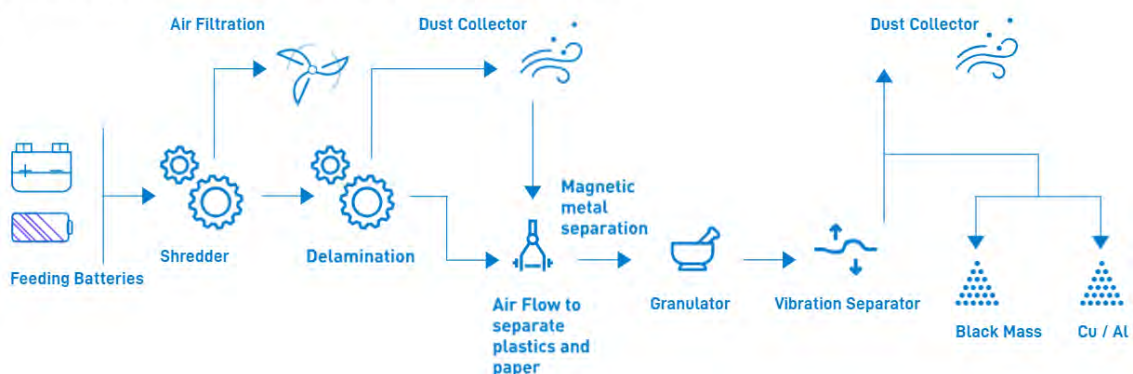


**Figura 37. Materiales de LIB cuyo tamaño se ha reducido mediante trituración mecánica**  
(Fuente: Li-Cycle proceso de reciclaje, <https://www.energy-storage.news>).

A la trituración de las celdas le sigue un tratamiento térmico o una separación mecánica, según las propiedades físicas del material. Entre ellas se incluyen la densidad, propiedades magnéticas y electrostáticas, así como el tamaño de las partículas y propiedades granulométricas.

Como preparación a la ruta de tratamiento hidrometalúrgico que se expone más adelante, es especialmente importante separar las fracciones individuales de carcasa, colectores de corriente, plásticos como separadores y la masa negra de la forma más pura posible. Actualmente se investiga también la separación del grafito de la fracción de masa negra. Para lograr estos objetivos, se llevan a cabo combinaciones de varias técnicas de separación. Algunos ejemplos son la separación magnética (después del tratamiento térmico reductivo para separar óxidos de níquel o cobalto); separación por corrientes parásitas, cribado, tamizado y desplazamiento para separar láminas colectoras y separadores; o la clasificación por gravedad en campos de flujo y flotación para la recuperación de grafito.

### Battery recycling - black mass process



**Figura 38. Obtención de la black mass mediante proceso de reciclado mecánico.**

(Fuente: TES Sustaining Tomorrow, <https://www.tes-amm.com/>).

Para una clasificación suficiente es crucial la delaminación de los colectores de corriente (láminas metálicas). Sin embargo, un pretratamiento puramente mecánico resulta difícil debido a los aglutinantes orgánicos. Por ello se recomienda un tratamiento químico o térmico previo para eliminar el aglutinante.

### 5.8.3 Recuperación temprana de litio

Actualmente, la recuperación de litio en el proceso de reciclaje no se ha implementado en la industria de forma suficiente. Normalmente la recuperación del litio es siempre el último paso en las rutas de procesos industriales como la pirometalurgia o la hidrometalurgia. Esto conduce a importantes pérdidas de este metal en los pasos anteriores del proceso. En el caso del tratamiento hidrometalúrgico, el litio se pierde durante las cementaciones y precipitaciones individuales, como se muestra en el siguiente esquema.



**Figura 39. Ejemplo de las pérdidas de litio en el reciclaje hidrometalúrgico después de los pasos de cementación y precipitación.**

(Fuente: C. Stallmeister et al., "Early-Stage Li-Removal," 2020..)

Por un lado, esto provoca menores tasas de recuperación de litio y, por otro, productos intermedios contaminados. En pirometalurgia existen dos estrategias diferentes para recuperar litio:

- i. Enriquecimiento en la escoria,
- ii. Enriquecimiento en el polvo de combustión.

Sin embargo, el enriquecimiento exclusivo en una de las dos fases no es posible, y también se produce contaminación cruzada, como se representa en la siguiente figura:

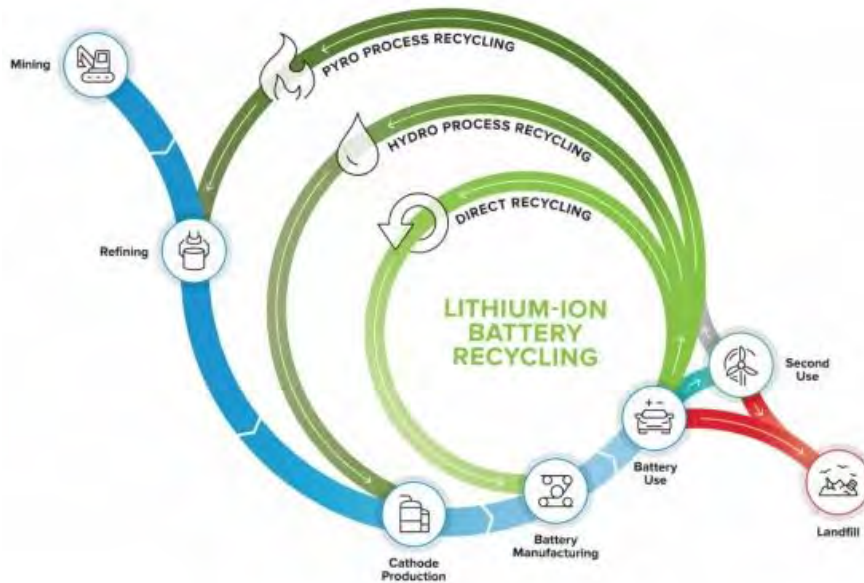


**Figura 40. Ejemplo de distribución de litio en el reciclaje pirometalúrgico: a) enriquecimiento en polvo de combustión y b) enriquecimiento en escoria**

(Fuente: C. Stallmeister et al., "Early-Stage Li-Removal," 2020).

Además, la recuperación hidrometalúrgica de litio a partir de los dos productos intermedios requiere mucha energía. La escoria debe pretratarse mecánicamente y luego la gran cantidad de material debe lixiviarse o concentrarse antes, por ejemplo, mediante flotación. Como el óxido de silicio es un agente fundente común en la pirometalurgia, el paso de lixiviación se complicaría con la formación de gel de sílice.

Los problemas descritos proporcionan la motivación para el paso del innovador proceso de recuperación de litio en etapas tempranas. Después de un pretratamiento térmico y mecánico, se realiza el reciclaje del litio de la *black mass* antes de pasar a las etapas de reciclaje hidrometalúrgico o pirometalúrgico. Por lo tanto, el litio se transfiere a compuestos solubles en agua como  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  o  $\text{LiOH}$ , que luego se eliminan mediante un paso de lixiviación con agua. La transformación de fase puede realizarse ya durante el pretratamiento térmico en condiciones de proceso apropiadamente adaptadas. Para lograr altas eficiencias de lixiviación, la etapa de lixiviación con agua puede ser asistida por la adición de  $\text{CO}_2$  a la solución, ya sea en condiciones atmosféricas o bajo presión hasta  $\text{CO}_2$  supercrítico en un autoclave. El tratamiento con  $\text{CO}_2$  conduce a una mayor solubilidad del litio y una carbonización de hasta > 90 % de eficiencia de lixiviación, dependiendo de la masa negra/material de entrada.



**Figura 41. Vías de economía circular para el reciclado de baterías de vehículos eléctricos.**

(Fuente: <https://batteryindustry.tech/>).

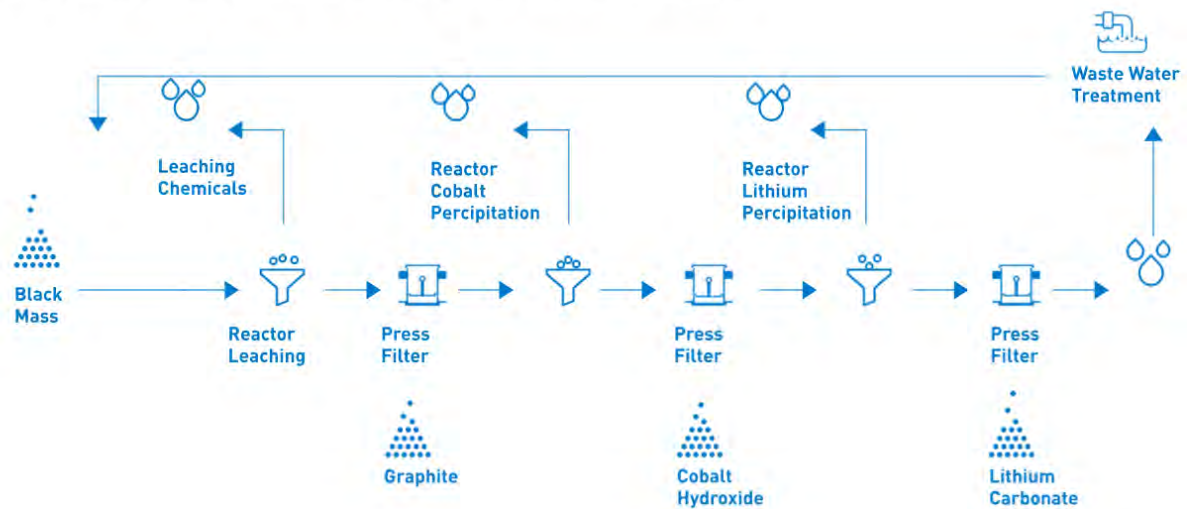
Así, las principales ventajas de este proceso se resumirían en:

- Altamente selectivo
- No se necesitan productos químicos
- Sin pérdidas de otros componentes valiosos de la batería
- Flexible, se puede implementar en rutas de procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos
- Halógeno simultáneo, esp. Es posible eliminar el flúor.
- Es posible un proceso de desperdicio casi nulo gracias a la circulación del agua.

#### 5.8.4 Hidrometalurgia

La masa negra de las LIB se puede tratar mediante hidrometalurgia o pirometalurgia. Como la masa negra no encaja realmente en las rutas de producción de metales hidrometalúrgicos ya existentes y la recuperación de compuestos como el cobalto (Co) y níquel (Ni) todavía están bajo investigación, la implementación industrial aún está en su infancia.

## Battery recycling - chemical refinement process



**Figura 42. Procesado de la black mass para recuperar grafito y productos intermedios.**

(Fuente: TES Sustaining Tomorrow, <https://www.tes-amm.com/>).

Así, el proceso de hidrometalurgia se puede dividir en dos enfoques:

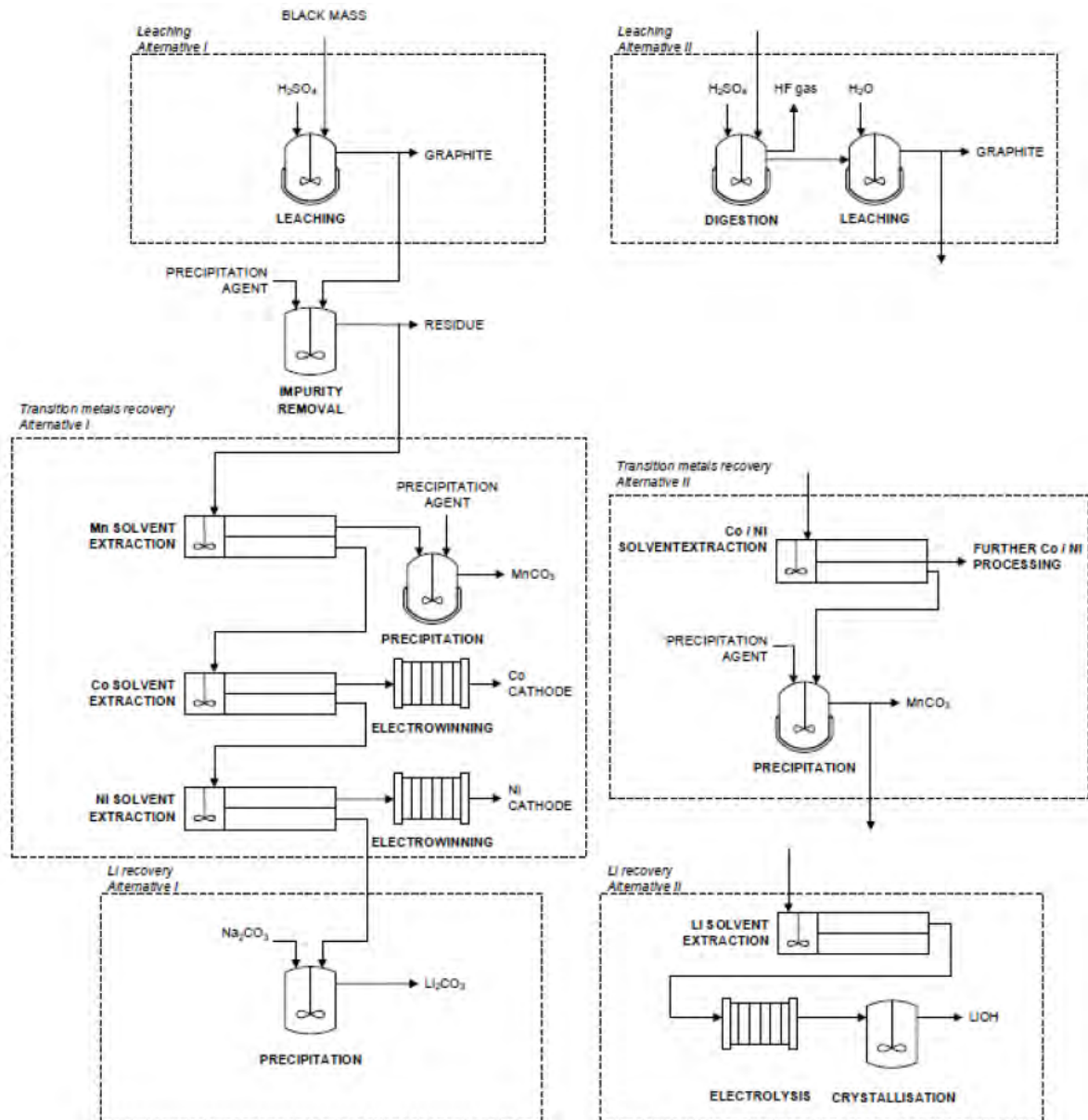
- i. La primera opción tiene como objetivo la producción de productos intermedios de sal mixta que puedan incorporarse a los procesos de producción de metales existentes para su posterior refinamiento.
- ii. La segunda opción tiende a productos de un solo metal puro, que requieren un tratamiento más complejo.

Ambas opciones comienzan con un paso de lixiviación, donde la masa negra se trata con ácidos (ej.  $H_2SO_4$ ) y temperatura elevada. Después de la lixiviación, el residuo sólido, compuesto principalmente de grafito, se separa mediante filtración (**Figura 42**). Actualmente se están investigando la purificación y grafitación del residuo sólido.

En el caso de la producción de productos intermedios, el primer paso después de la lixiviación es la cementación de cobre (Cu) mediante la adición de polvo de hierro. En el siguiente paso, se eliminan el aluminio y el hierro de la solución mediante ajuste del pH. Por lo tanto, se agrega un álcali como NaOH hasta alcanzar un pH de alrededor de 4. Otros ajustes del pH conducen a la precipitación de sales de Co y Ni. Debido a que la mayoría de las refinerías de Co y Ni no son capaces de hacer frente a altas impurezas de manganeso (Mn), es importante mantener baja la co-precipitación de Mn. El siguiente paso es la precipitación de Mn, que casi se completa cuando se alcanza un pH de alrededor de 10. El último paso en este diagrama de flujo es la recuperación del litio como carbonato. Mediante la adición de  $Na_2CO_3$  y el ajuste de la temperatura, se precipita la sal de litio.

La producción directa de productos de alta calidad requiere un tratamiento más complejo de la masa negra. Comúnmente, se lleva a cabo mediante extracción con disolventes después de los pasos de lixiviación y cementación. En las plantas mezcladoras-sedimentadoras, los metales individuales de Mn, Co y Ni se recuperan mediante extracción y separación con disolventes orgánicos. Posteriormente, el Co y el Ni pueden precipitarse en forma de sales o metálica mediante electrólisis.

La **Figura 43** ofrece una visión general de los posibles flujos de proceso dentro de este marco.



**Figura 43. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de baterías por hidrometalurgia.**

(Fuente: L. Brückner et al, "Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries—A Critical Review of Metallurgical Process Routes" *Metals*, 2020, DOI: 10.3390/met10081107).

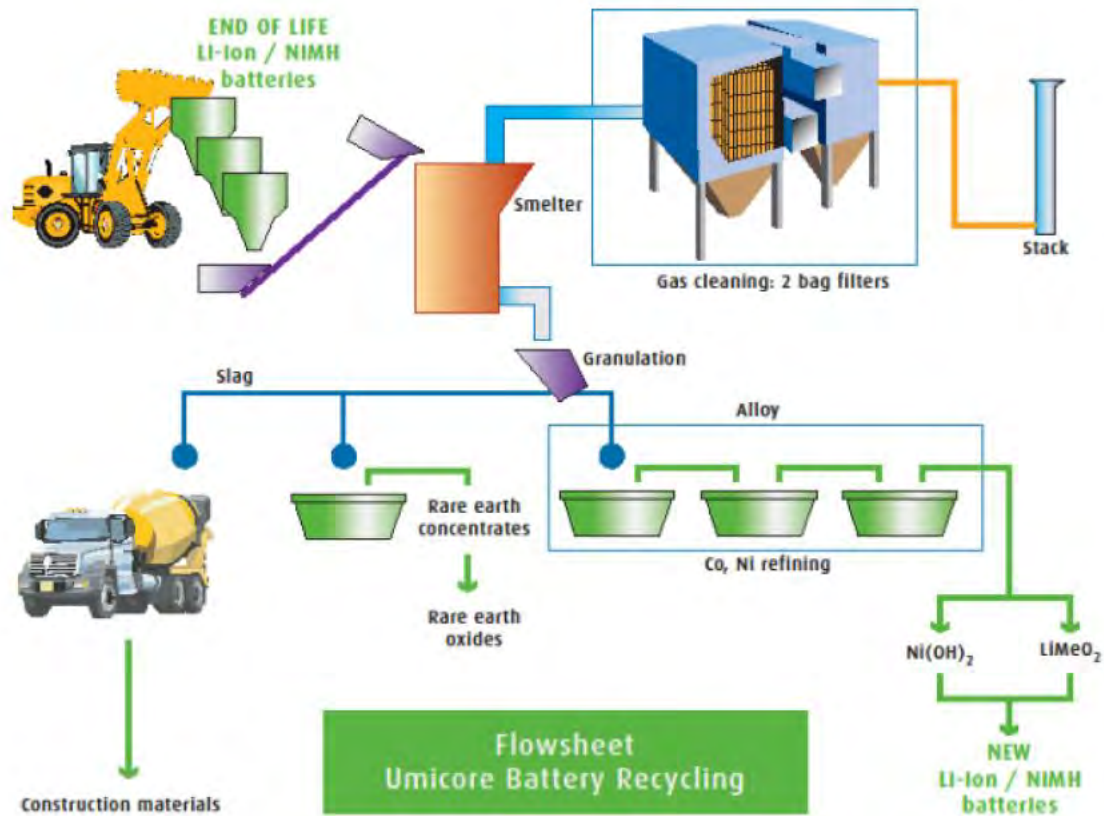
En el caso de LIBs que contienen flúor (F), la formación de ácido fluorhídrico es significativa. Si se realiza un pre-tratamiento térmico, ya se elimina una gran cantidad de flúor de la masa negra. Sin embargo, la masa negra todavía contiene alrededor de un 2% en peso de flúor, lo que puede provocar corrosión o actuar como impureza en los productos salinos. El comportamiento del flúor y las posibles formas de combatirlo aún se encuentran bajo investigación.

### 5.8.5 Pirometalurgia

Los procesos de pirometalurgia implican la fusión de módulos, celdas o de masa negra ya separada. El material se funde a altas temperaturas (1450-1600 °C) con la adición de fundentes, que son necesarios para formar una escoria líquida con una temperatura por debajo de 1400 °C. Los fundentes comunes son el óxido de silicio y la cal. Forman una escoria oxidica con el aluminio y el litio (si no se eliminaron en los pasos anteriores) y, si está presente, con hierro. La escoria se utiliza en la industria de la construcción. La recuperación del litio a partir de la escoria aún no se ha llevado a cabo industrialmente, ya que aún no se ha desarrollado ningún proceso económicamente viable, aunque se está investigando actualmente.

Los metales nobles como el cobre, níquel y cobalto se concentran en una aleación, que puede tratarse hidrometalúrgicamente para recuperar un solo metal. Por tanto, el proceso de fundición consiste en separar metales nobles y menos nobles. Si el material no está pretratado térmicamente, se utiliza lo orgánico como fuente de energía y el grafito como agente reductor de los óxidos metálicos. Los haluros como el flúor se evaporan en el polvo de combustión.

Un ejemplo a nivel industrial para el reciclaje pirometalúrgico es el desarrollado por la empresa belga UMICORE (<https://brs.umicore.com/en/recycling/>). Las baterías enteras se procesan junto con coque, SiO<sub>2</sub> y CaO, para reducir la escoria de cobre en un horno de cuba (**Figura 44**).



**Figura 44. Esquema simplificado del proceso de reciclado de UMICORE.**

(Fuente: T. Elwert et al., "Current Developments and Challenges in the Recycling of Key Components of (Hybrid) Electric Vehicles," *Recycling*, 2016, DOI: 10.3390/recycling1010025).

El horno de pirólisis se puede dividir en tres zonas: precalentamiento, pirólisis y zona de fusión y reducción. En la zona de precalentamiento, las baterías gastadas se calientan lentamente a temperaturas de hasta 300 °C mediante el contraflujo de gas que proviene de la zona de fusión y reducción. Durante este proceso, el electrolito se evapora y el aumento lento de temperatura reduce el riesgo de explosión. En la zona de pirólisis la temperatura aumenta hasta unos 700 °C. La materia orgánica de las baterías se agrieta y se volatiliza. Los gases calientes resultantes ascienden a través del pozo y calientan la zona de precalentamiento. En la zona de fusión y reducción se inyecta aire precalentado y enriquecido con oxígeno por el fondo del horno. El coque y el aluminio reaccionan como agentes reductores del Ni y el Co. La aleación resultante de Ni, Co y Cu se sedimenta en la fase de escoria y puede procesarse adicionalmente para recuperar los metales individuales.

Los gases generados durante el proceso son conducidos hacia arriba a través del eje. A esto le sigue una limpieza de los gases de escape similar al pretratamiento térmico con postcombustión de la materia orgánica y una etapa de lavado para eliminar los componentes ácidos. Además, es necesaria una filtración del humo.

Como alternativa al procesamiento de las celdas enteras; se puede tratar la masa negra ya separada – Este proceso lo sigue la alemana ACCUREC RECYCLING GmbH (<https://accurec.de/recycling?lang=en>), en el que se puede fundir en un horno de arco eléctrico. En este caso, la zona de precalentamiento y pirólisis ya no son necesarias, de modo que el material pasa directamente a la zona de fusión. El principio de separar una aleación de la fase de escoria sigue siendo el mismo que se describe anteriormente. Pero debido a que durante el procesamiento mecánico ya se eliminan las carcasas y los colectores, se transfiere menos aluminio a la fase de escoria y, por lo tanto, se necesitan menos fundentes. Esto conduce a una menor cantidad de escoria por batería procesada y a un mayor contenido de litio en la escoria (si aún no se elimina mediante ESLR). Actualmente se está investigando la recuperación de litio a partir de la escoria producida. Otra opción investigada y reportada en la investigación es el enriquecimiento de litio en el polvo de combustión. El enriquecimiento ya sea en escoria o en polvo depende del diseño, porque la composición de la escoria es responsable de la solubilidad del litio. Cuando se alcanza la solubilidad máxima, todo el litio adicional se volatiliza. A continuación, el litio puede recuperarse hidrometalúrgicamente del polvo de combustión.

### 5.8.6 Últimas tendencias en el mercado sobre el reciclaje de baterías

El interés y la inversión en el reciclaje de baterías están aumentando y existe una presión cada vez mayor para encontrar maneras de satisfacer la demanda futura de materiales. A continuación, un resumen de las últimas tendencias y consideraciones:

#### La demanda de baterías LIB crece rápidamente

La electrificación del transporte y el rápido desarrollo de los sistemas de almacenamiento de energía (AdE) están impulsando la demanda de baterías de iones de litio. Así, algunas agencias pronostican que la demanda de LIBs se quintuplicará, de 821 GWh hora en 2023 a 4.328 GWh en 2033, a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 16%.

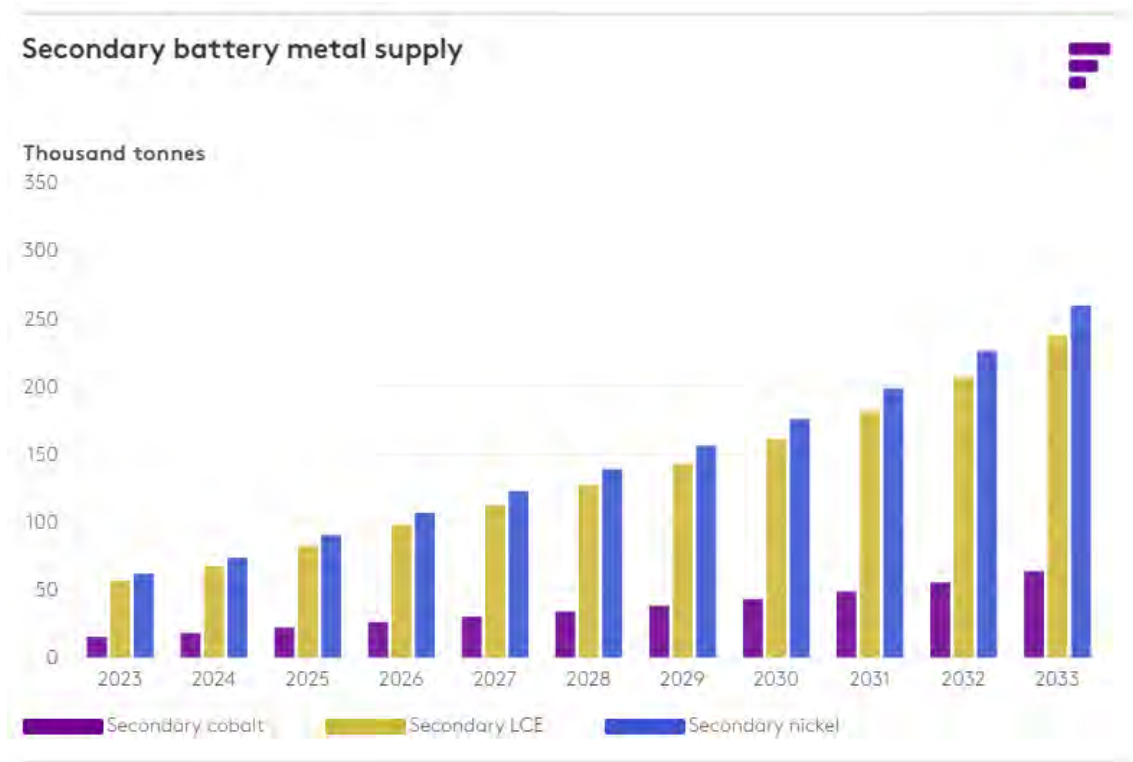
El reciclaje (metal secundario) puede complementar la minería (metal primario) brindando seguridad de suministro a regiones que podrían no ser naturalmente ricas en estos metales. Las baterías de productos electrónicos de consumo tienen la vida útil más corta, de aproximadamente 2 a 5 años, mientras que las de los vehículos eléctricos son de 10 a 15 años y las AdE de 15 a 20 años, lo que significa una espera más larga hasta que estas baterías estén disponibles para su reciclaje.

#### La producción de metales "secundarios" reciclados representa menos del 5% de la producción total.

Si bien el mercado del reciclaje ha experimentado importantes inversiones recientemente, todavía representa menos del 5% de la producción total de metal para baterías. Del total de material suministrado al mercado en 2023, el 5% del cobalto provino del reciclaje de baterías, el 6% de carbonato de litio

equivalente (LCE) y el 1% de níquel. Algunas agencias pronostican que el suministro secundario aumentará al 12%, 7% y 5% respectivamente para 2033.

Esto muestra que, si bien el reciclaje desempeñará un papel importante en el suministro y en el avance hacia una producción de EVs más sostenible, todavía necesitamos más producción de metales primarios en el futuro previsible.



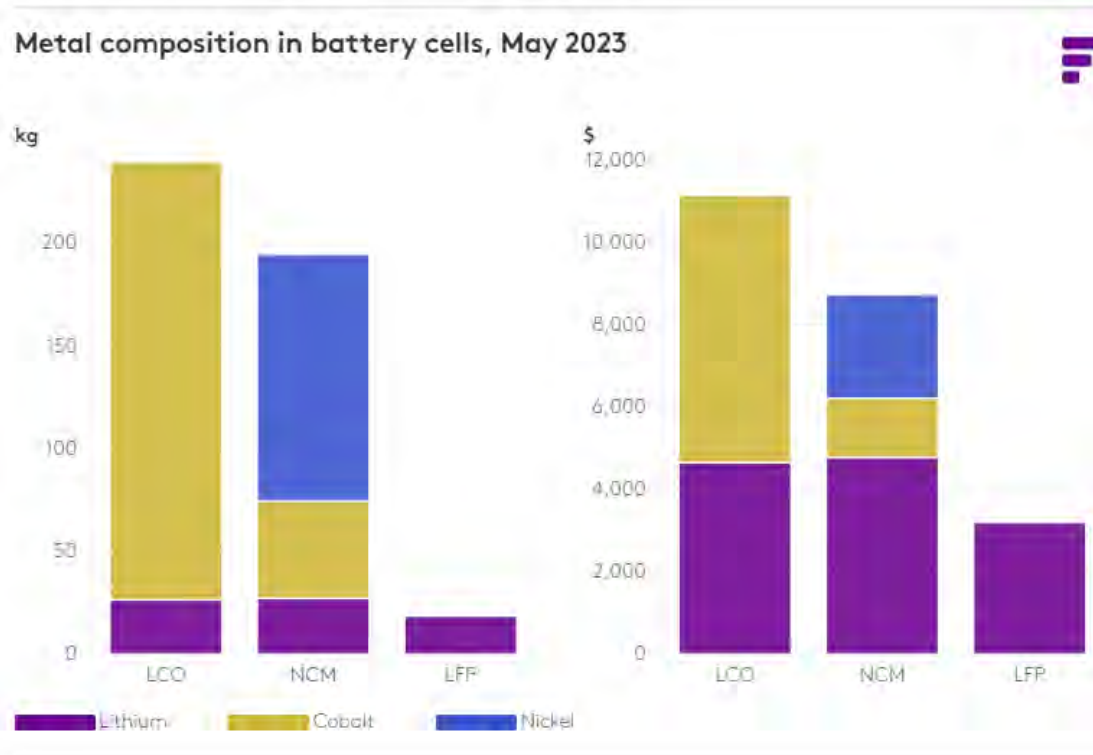
**Figura 45. Pronóstico de producción de metales secundarios.**

(Fuente: Fastmarkets, 2023).

### Tipos de masa negra (*black mass*) “más deseables”

La masa negra de litio cobalto (LCO) y níquel cobalto manganeso (NCM) es más valiosa en términos de los metales contenidos en la batería que la masa negra de fosfato de hierro y litio (LFP).

Por tonelada de una mezcla promedio de celdas de NCM hay aproximadamente € 8,300 de valor de litio, níquel y cobalto (*precios de mayo de 2023*), y el litio representa solo el 14% del peso, pero el 55% del valor total de estos tres metales. Las celdas LCO contienen litio y cobalto y tienen un valor de € 10,600; el litio representa el 11% en peso y un 42% en valor de estos dos metales. Las baterías LFP tienen un valor aproximado de € 3.000 por tonelada de celdas, lo que las convierte en la batería más barata de producir y la masa negra menos valiosa.



**Figura 46. Costes asociados a los metales usados en LIBs.**

(Fuente: Fastmarkets, 2023).

### La masa negra de baterías LFP se puede refinar con tecnologías emergentes

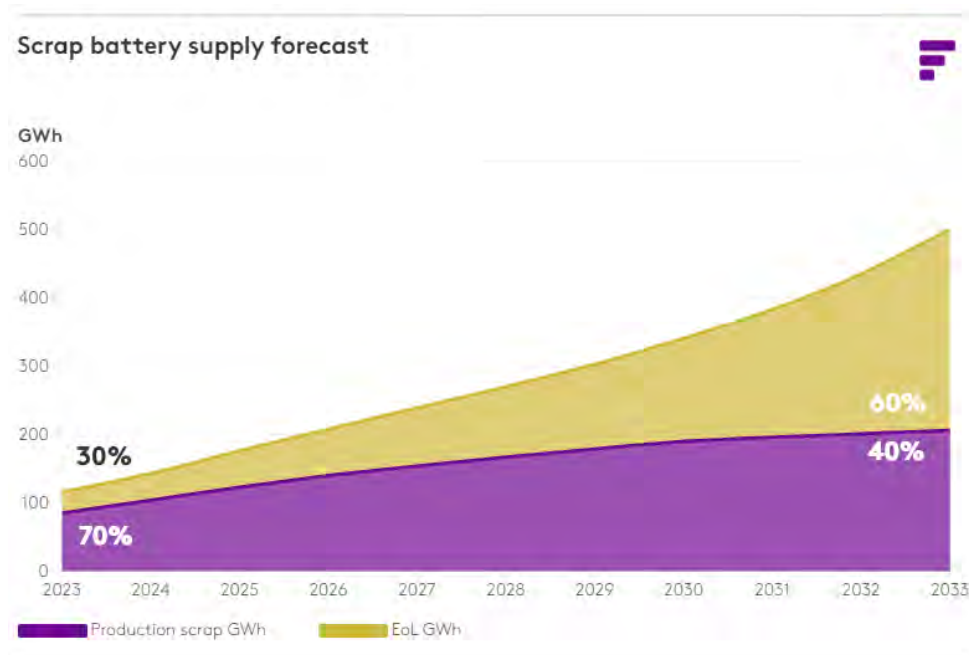
El refinamiento pirometalúrgico (piro) de la masa negra implica calentar a 1.400 °C, temperatura a la que el litio se pierde en la escoria, lo que hace que este método sea inviable para la masa negra de baterías de LFP. Si bien la masa negra de NCM y LCO se puede refinar con este proceso, es un método de reciclaje menos popular debido a la pérdida de litio.

La refinación hidrometalúrgica (hidro) cuesta aproximadamente entre €1.500 - 1.800 por tonelada de masa negra, lo que hace que el reciclaje de LFP sea prohibitivamente caro. Esta técnica es el método de reciclaje más popular, particularmente en Asia, donde las tasas de recuperación de litio son más altas. Las tecnologías más nuevas, como el refinado electroquímico, tienen menores gastos operativos y son métodos de reciclaje viables para una gama más amplia de masas negras, incluida la LFP. Dado que la LFP está aumentando a nivel mundial, y particularmente en China, se espera una mayor cantidad de este tipo de masa negra en el futuro.

### El *scrap* proveniente de producción representa las tres cuartas partes del total

El *scrap* proveniente de producción representa actualmente el 73% y la de fin de vida útil (EoL) el 27% de toda el *scrap* (desperdicio) de baterías. Sin embargo, para 2031, EoL asumirá el papel de principal fuente de *scrap* cuando algunos de los EVs que se fabrican ahora estén listos para ser reciclados. Para 2033, se pronostica que el EoL representará el 59% y el desperdicio de producción el 41%.

En una gigafábrica bien establecida, aproximadamente el 5% de las celdas, paquetes y baterías no pasan los controles, mientras que en una nueva planta esto podría llegar al 30%. Estas baterías estarán inmediatamente disponibles para su reciclaje como *scrap* de producción (*scrap battery supply*).



**Figura 47. Pronósticos sobre la generación de scrap en producción y baterías EoL**

(Fuente: Fastmarkets, 2023).

### Las baterías de segunda vida se adoptarán a nivel regional

La segunda vida o “utilización en cascada” se produce cuando las baterías de EVs usadas se reutilizan para almacenar energía en vehículos de dos o tres ruedas. Puede haber problemas de seguridad con estas baterías, ya que hay una inflexión o “punto de inflexión” en el 80% del estado de salud (SoH) por debajo del cual puede haber una degradación no lineal. Esto significa que, aunque un grupo de baterías parece muy similar, una de ellas podría deteriorarse más rápidamente e incluso representar un riesgo de incendio.

Debido a esto, se ha hablado de prohibir *Second Life Batteries* en China y el estado de Nueva York. Sin embargo, hay algunos lugares que son más optimistas, incluida India. India tiene un mercado bien establecido para recibir automóviles usados de Europa y está construyendo una cadena de valor para



BEVs usadas, con empresas como Lohum. Sin embargo, este mercado competirá con los recicladores (EoL) y las baterías de desecho de producción (*scrap batteries*).



## 6 Consideraciones Finales

**Las baterías de iones de litio (LIB) son un facilitador clave para la descarbonización global.** Las baterías de iones de litio desempeñarán un papel clave en el cambio hacia una economía más renovable, sostenible y futuro con bajas emisiones de carbono. Sin embargo, las formas en las que actualmente se fabrican, utilizan y eliminan las LIB son incompatibles con un futuro sostenible.

**El mercado de las LIB está creciendo rápidamente.** Por ejemplo, la capacidad anual de la producción de baterías de litio ha aumentado un 500 % a nivel mundial desde 2010. Utilizadas tradicionalmente en la electrónica de consumo desde la década de los 90, las aplicaciones de las baterías de litio se han expandido notablemente, sobre todo en el sector del transporte. Como se ha visto, la adopción de los EVs es ya un hecho. Solo en España, se cuenta ya con una flota de más de 250.000 EVs de diversos tipos, y tiene un reto de alcanzar los 5 millones de en 2030.

**Marco regulatorio que ayude a armonizar el ciclo de vida de las baterías frente a esta gran demanda.** Para hacer frente a esta gran demanda y a todos los desafíos que conlleva, es fundamental un despliegue de recursos, una mayor transparencia y medidas de mitigación; pero, sobre todo, un marco regulatorio que contribuya a armonizar el ciclo de vida de las baterías producidas y comercializadas dentro de la Unión Europea; así como de establecer normas sobre sostenibilidad, rendimiento, seguridad, recogida, reciclado y segunda vida de las baterías.

El tan esperado Reglamento sobre baterías (*EU Batteries Regulation*) se reveló a principios de este verano y entró en vigor el 17 de agosto de 2023. El reglamento se aplica a todas las baterías de la UE, independientemente de su origen, aplicación o materiales. El reglamento establece objetivos claros sobre el material reciclado y pautas claras para la debida diligencia y la responsabilidad del usuario durante toda la vida útil de la batería.

Muchos de los requisitos y objetivos se establecen para dentro de varios años, lo que permitirá a los operadores económicos analizar e integrar los cambios necesarios en sus operaciones. Por otra parte, todavía hay muchos objetivos imprecisos o promesas de introducir nuevos requisitos en una fecha posterior mediante actos delegados. Por tanto, la regulación de las baterías aún está lejos de estar completa.

*Así, este reglamento nace para prevenir y reducir los impactos adversos de las baterías en el medio ambiente y garantizar una cadena de valor segura y sostenible para todas las baterías, teniendo en cuenta, la huella de carbono de su fabricación, el abastecimiento ético de materias primas y la seguridad del suministro, y facilitando la reutilización, la reutilización y el reciclaje.*



**Entender la Cadena de Valor de las baterías en una economía circular.** La cadena de suministro lineal y su rápido crecimiento está generando resultados económicos, ambientales y sociales insostenibles. Como ocurre con la mayoría de los productos, las LIB siguen un modelo lineal de cadena de suministro de fabricar, usar y desechar. Este modelo tiene muchos problemas fundamentales que incluyen: seguridad y flexibilidad de la cadena de suministro, huella de carbono y energía, consumo de agua y contaminación, condiciones laborales y, por supuesto, residuos. Las LIB contienen litio y otros metales que en su mayoría se extraen de la tierra en una de manera intensiva en energía y causan otras externalidades ambientales significativas. Cuando las LIB terminan en vertederos, se producen tanto impactos ambientales como pérdidas significativas de valor material.

**El concepto de economía circular proporciona principios, herramientas y modelos de negocio para redirigir este valor perdido y crear mejores resultados económicos, ambientales y sociales.** La economía circular es una oportunidad para que los actores existentes en la industria de baterías creen más valor y se creen nuevos servicios o empleos. Esto también trae beneficios colaterales a las comunidades locales y sectores afines. El diseño de modelos de negocio hacia una economía circular remodela empresas existentes o inspira otras nuevas. Sin embargo, la implementación de modelos circulares requiere un cambio de mentalidad a todos los niveles ya que normalmente, se identifican el doble de barreras que oportunidades para la transición a un entorno circular. Una mayor conciencia, investigación y entendimiento de la cadena de valor de las baterías, pueden ayudar a la industria a comprender los caminos para desbloquear las oportunidades y soluciones para superar estas barreras.

Como se intenta mostrar en el informe, **la cadena de valor circular de las baterías es muy amplia y da lugar a numerosos retos tecnológicos e industriales que es necesario identificar y caracterizar convenientemente**, para poder identificar oportunidades de negocio para la industria de Gipuzkoa y límite.

Desde **ZIRKULAR BAT – Ecosistema circular de las baterías de Gipuzkoa**, se ha identificado de forma precisa dicha cadena de valor de las baterías poniendo el acento en los conceptos de ecodiseño, circularidad y que permita visualizar potenciales nichos de actividad y negocio para la industria del territorio. Los aspectos desglosados en el informe han sido:

**Ecodiseño** | El potencial de circularidad de las baterías se define significativamente al comienzo del ciclo de vida, en el proceso de diseño. La *EU Batteries Regulation* aborda esta cuestión, suponiendo una guía inicial sobre la capacidad de extracción y sustitución de las baterías. En particular, se han descrito algunos parámetros de diseño de productos circulares como:

- Facilidad de reparación y mantenimiento



- Facilidad de actualización, reutilización en primera y segunda vida, remanufactura y reacondicionamiento
- Facilidad y calidad del reciclaje

**Trazabilidad** | Las baterías son sistemas complejos y la capacidad de rastrear cada aspecto del proceso de fabricación y distribución de las baterías de EVs es fundamental para la aplicación de la nueva regulación.

**Logística** | La cadena de la gestión de las baterías, incluyendo la gestión de los futuros residuos, debe comenzar mucho antes del final de su vida, desde el momento de la introducción de la batería en el mercado, estableciendo ciertas medidas de estandarización y trazabilidad. Así, para poder gestionar de manera eficiente y sostenible la esperada *avalancha* de baterías procedentes de todo tipo de EVs, la regulación en un marco legislativo es fundamental.

**Fin de la primera vida** | Después de perder alrededor del 20%-30% de su capacidad inicial, las LIB difícilmente pueden satisfacer los requisitos de potencia y energía de los EVs. Sin embargo, estas LIB retiradas siguen siendo atractivas para remanufacturar o reutilizar en diversas aplicaciones debido a la cantidad restante de capacidad.

En el informe se han desglosado tratamientos circulares de estas LIB retiradas como su remanufactura (*remanufacturing*), reutilización directa o en segunda aplicación (*reuse/repurposing*), o reciclaje (*recycling*). Para determinar que tratamiento es el más adecuado para su segunda vida, la batería se somete a una evaluación técnica al final de su primera vida útil (diagnóstico *end-of-life*). Este diagnóstico es uno de los primeros pasos dentro de la etapa de logística inversa, en la que se clasifican y desmantelan estas baterías. Estos procesos son actualmente manuales y requieren de profesionales cualificados, pero hay una tendencia en el mercado hacia su automatización.

Por último, también se da en el informe una perspectiva general de los usos más populares en segunda vida. Probablemente, la reutilización de estas baterías como sistemas de almacenamiento de energía estacionarias es uno de los usos más notorios.

**Reciclaje** | En las próximas décadas circularán cientos de millones de EVs que incorporarán baterías con kilos de materiales críticos que aún no se han extraído. Esto representa un cambio radical de un sistema energético intensivo en combustible a uno intensivo en materiales. Para intentar reducir su fuerte dependencia del exterior, la EU ha impulsado numerosas iniciativas como el Plan de Acción de Materias Primas Críticas y, en particular, el nuevo reglamento mencionado anteriormente, sustituyendo a la Directiva de 2006.

Aunque el reciclaje es una medida importante para atenuar el riesgo de suministro de estos materiales, la industria de reciclaje de LIBs es todavía bastante incipiente en Europa, y en España no existe actualmente una capacidad real. Por un lado, porque aún no hay un volumen de residuos suficiente que garantice la rentabilidad de los procesos de reciclaje. Por otro lado, porque la mayoría de las fracciones de materiales ricos en metales como litio, níquel cobalto y manganeso acaban en plantas asiáticas, siendo valorizados fuera de la EU.

En general, los principales procesos de pretratamiento y reciclaje de las LIBs o *scraps* aún tienen margen de mejora. La variedad de materiales y químicas presentes en las baterías de litio dificulta el establecimiento de un procedimiento único universal para su recuperación. Por ello, es importante establecer un sistema de etiquetado (*Battery Passport*) que permita una clasificación de las baterías eficaz para mejorar la eficiencia de los procesos de reciclaje.

Hoy en día, la pirometalurgia, hidrometalurgia o una combinación de ambos métodos son las principales tecnologías de reciclaje industrial, centrada en la *black mass*: i) un primer conjunto de procesos focalizado en su obtención (procesos mecánicos en su mayoría), y ii) un segundo grupo de procesos posterior focalizados en el tratamiento de esta *black mass* (procesos de extracción de los metales valiosos). Algunos estudios de análisis de ciclo de vida han probado que los materiales usados en estas baterías influyen de manera significativa en el reciclado y recuperación. Así, un ecodiseño efectivo, podría reducir los impactos medioambientales y consumo energético global del reciclaje.

Otro reto, es que las baterías se encuentran en constante desarrollo y mejora, por lo que las baterías que se comercialicen en los siguientes 10-20 años pueden ser muy inferiores y/o diferentes a las actuales.

**La disponibilidad de fondos e inversiones, así como el efecto impulsor de la I+D, desempeñarán un papel fundamental para que los procesos sean más sostenibles y eficientes, tanto en términos de utilización de energía y materiales como de recuperabilidad de materias primas valiosas.**

Para finalizar, y teniendo en cuenta lo desarrollado sobre la cadena de valor circular de las baterías, los mensajes clave para interiorizar en áreas con un gran tejido industrial como el de Gipuzkoa, serían los siguientes:

- La demanda de baterías crece continuamente y es clave para Gipuzkoa convertirse en un actor competitivo en el negocio mundial de las baterías.
- Gipuzkoa lo hará situando la sostenibilidad medioambiental en el centro de su estrategia de baterías para abordar adecuadamente las ambiciones de la nueva regulación de baterías y, por tanto, el Pacto Verde Europeo.



- Se necesitan más inversiones para recuperar metales valiosos de las baterías al final de su vida útil, ya que esto generará algunas de las materias primas necesarias para el creciente sector de fabricación de baterías de iones de litio en Europa y Gipuzkoa.
- El desarrollo de una comunidad de actores involucrados en la gestión del reciclaje de baterías (incluyendo segunda vida) es necesaria para ser competitivos.
- Diseño de procesos inteligentes que integren fracciones seleccionadas de la cadena de valor en la infraestructura industrial existente dentro de Gipuzkoa.
- Asimismo, una red eficiente de recogida y reciclaje industrial de las baterías al final de su vida útil será fundamental para satisfacer la alta demanda de materias primas y garantizar la circularidad y la sostenibilidad.

## 7 Documentación Relevante

En la siguiente tabla se recogen los documentos más relevantes y de referencia respecto a la cadena de valor de las baterías. Información clave de estos informes estratégicos ha sido usada para la elaboración del presente informe.

**Tabla 7. Principales informes estratégicos sobre la cadena de valor de las baterías.**



### Battery Passport Content Guidance

Battery Pass | Achieving compliance with the EU Battery Regulation and increasing sustainability and circularity.

Version 1.0 / April 2023

### 1 Strategic Action Plan on Batteries

(Mayo 2018)

[https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_3&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_3&format=PDF)

### 2 The European Green Deal

(Diciembre 2019)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX%3A52019DC0640>

Documentos Estratégicos  
a nivel Europeo por  
orden cronológico

### 3 Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020

(Enero 2023)

<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-5469-2023-INIT/en/pdf>

### 4 A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age

(Febrero 2023)

[https://commission.europa.eu/system/files/2023-02/COM\\_2023\\_62\\_2\\_EN\\_ACT\\_A%20Green%20Deal%20Industrial%20Plan%20for%20the%20Net-Zero%20Age.pdf](https://commission.europa.eu/system/files/2023-02/COM_2023_62_2_EN_ACT_A%20Green%20Deal%20Industrial%20Plan%20for%20the%20Net-Zero%20Age.pdf)

## 5 European Critical Raw Materials Act (proposal for regulation)

(Marzo 2023)

[https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en)

## 6 Net Zero Industry Act (proposal for regulation)

(Marzo 2023)

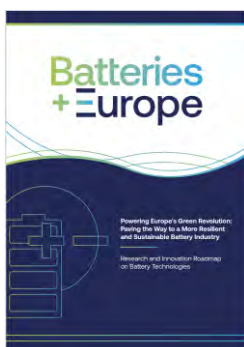
[https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/net-zero-industry-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/net-zero-industry-act_en)



### Batteries 2030+

Technology Roadmap (v. August 2023)

La Hoja de Ruta de Battery 2030+, se centra en las pautas de la investigación a largo plazo. Así, se perfilan acciones de investigación destinadas a revolucionar la tecnología de las baterías para aplicaciones en el mundo real, como parte de un esfuerzo europeo para posibilitar la fabricación de celdas de batería. Esta hoja, con sus seis áreas de investigación, constituye la base para alcanzar los objetivos de almacenamiento de energía del Pacto Verde Europeo.



### Batteries Europe

Powering Europe's Green Revolution: Paving the Way to a More Resilient and Sustainable Battery Industry | Batteries Europe R&I Roadmap (2023)

La Hoja de Ruta de I+D de Batteries Europe ofrece una visión detallada de los planes y requisitos vigentes que tienen que ver con el desarrollo de toda la cadena de valor de las baterías y presenta una visión de conjunto de las principales áreas de investigación identificadas para su exploración en detalle. El documento acoge iniciativas clave de la Unión Europea dentro del ecosistema de las baterías, a la vez que define los objetivos estratégicos.



**Batteries Partnership: Strategic Research and Innovation Agenda**  
(Actualización 2024)



**ESTRATEGIA DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO. MARCO ESTRATÉGICO DE ENERGÍA Y CLIMA**

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021-2030)



**ETIP Batteries Europe**

Raw Materials and Recycling Roadmap (2021)



## ANEXO I

# Baterías en vehículos eléctricos, formatos de celdas y principios de funcionamiento



## Tipos de vehículos y requerimientos de baterías

En función de la tipología de vehículo electrificado, se requiere diferentes packs de baterías, por ejemplo, si el vehículo es enchufable (PHEV o BEV), el pack de baterías es más complejo al existir un sistema de recarga desde la red. La siguiente Tabla refleja los requerimientos principales para el pack de baterías en función del tipo de vehículo electrificado:

**Tabla AI.** Requerimientos principales para el pack de baterías en función del tipo de vehículo electrificado. Fuente: SERNAUTO

	Microhíbridos (mhybrid)	Híbrido (Mildhybrid)	Híbrido (Full hybrid)	Híbrido Enchufable (Plug-in hybrid)	Eléctrico con batería (BEV)
Tracción	Combustión interna	Cl eléctrico +	Cl + eléctrico	Cl + eléctrico	Eléctrica
Energía almacenada	0,6 – 1 kWh	0,6 – 1 kWh	1 – 2,5 kWh	4 – 10 kWh	20-80 kWh
Potencia	2 – 10 kW	10 – 20 kW	20 – 70 kW	20-70 kW	25 – 200 kW
Rango de tensión	12 – 48 V	48 – 200 V	200 – 400 V	200 – 400 V	200 – 400 V
Funciones	Función parada - arranque	Aceleración y recuperación de energía	Potencia eléctrica y recuperación de energía	Fuentes de energía: Batería y combustible	Fuente de energía: batería
Rango eléctrico	0 km	0 – 1 km	2 – 5 km	50 – 80 km	120 – 400 km
Reducción consumo combustible	4 – 10 %	10 – 20 %	15 – 30 %	30 – 100 %	100 %

## Formatos de celdas

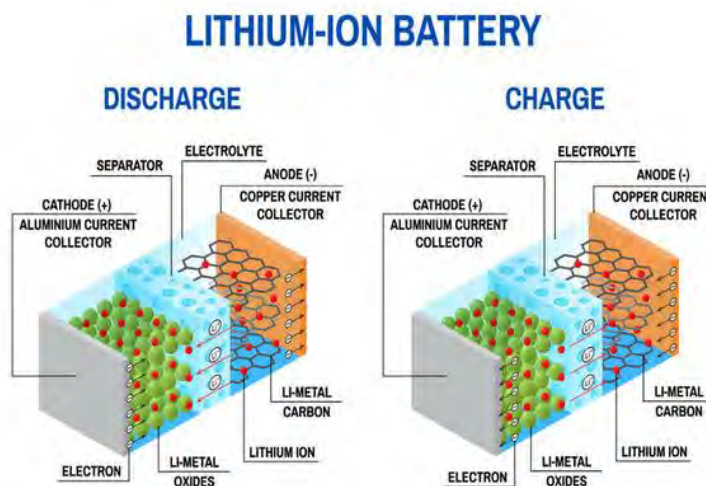
La celda es la unidad mínima a partir de la cual se constituye un módulo y sobre estos, el pack de baterías. Existen diferentes tipos de celdas en función de la geometría de estas y de los materiales empleados. En cuanto a la forma, existen tres tipos principales, prismático, cilíndrico y pouch. Cada geometría tiene sus ventajas y desventajas, resumidas en la siguiente tabla:

Formato	Ventajas	Desventajas	Aplicación	Principales fabricantes	Cuota de mercado, volumen y ventas	OEMs principales
	Alta energía específica Buena estabilidad mecánica Permite fabricación automatizada Permite características de seguridad que otros formatos no permiten Buen ciclado y durabilidad en almacenamiento	Baja densidad de empaquetado	Aplicaciones portátiles	Panasonic	25% 13%	Tesla
	Eficiente en espacio	Fabricación más cara que las cilíndricas	Tren de potencia eléctrico y sistemas de almacenamiento	Samsung SDI, Panasonic, BYD, EnerDel, ATL, PEVE, LEJ	26% 33%	Toyota, Mitsubishi, Honda, BMS, VW, Audi, Chrysler, BYD, Ford
	Ligeras Económicas Las celdas grandes funcionan mejor con cargas ligeras y tiempos de carga moderados	La humedad y las temperaturas elevadas pueden reducir su vida útil Inflamación del 9-10% por encima de los 500 ciclos con algunos diseños de celda	Tren de potencia eléctrico y sistemas de almacenamiento	AESE, LG Chem, SK Innovation	49% 54%	Nissan, GM, Ford, Renault, Daimler, Hyundai, Volvo

Figura AI. Ventajas y desventajas de cada geometría de baterías. Fuente: SERNAUTO

### Química de las celdas y principio de funcionamiento

Una batería se compone de un ánodo, cátodo, separador, electrolito y dos colectores de corriente (positivo y negativo). El ánodo y el cátodo almacenan el litio. El electrolito transporta iones de litio cargados positivamente desde el ánodo hasta el cátodo y viceversa a través del separador. El movimiento de los iones de litio crea electrones libres en el ánodo que crea una carga en el colector de corriente positiva. La corriente eléctrica luego fluye desde el colector de corriente a través de un dispositivo que se alimenta (vehículo eléctrico, teléfono móvil, ordenador, etc.) hasta el colector de corriente negativa. El separador bloquea el flujo de electrones dentro de la batería.



Mientras la batería se descarga y proporciona una corriente eléctrica, el ánodo libera iones de litio al cátodo, generando un flujo de electrones de un lado a otro. Al enchufar el dispositivo, sucede lo contrario: los iones de litio son liberados por el cátodo y recibidos por el ánodo.



Los dos conceptos más comunes asociados con las baterías son la densidad de energía y la densidad de potencia. La densidad de energía se mide en vatios-hora por kilogramo (Wh/kg) y es la cantidad de energía que la batería puede almacenar con respecto a su masa. La densidad de potencia se mide en vatios por kilogramo (W/kg) y es la cantidad de energía que puede generar la batería con respecto a su masa.

Existen diversos tipos de baterías según el material activo y las prestaciones que ofrecen. En las baterías de ion litio, suele ser el material del cátodo el que establece la nomenclatura de la celda. Entre las que son más competitivas, ofrecen alta potencia y media-alta densidad de energía, así como estabilidad térmica, destacan las de Oxido de Cobalto-Manganeso-Níquel-Litio (NMC), que son las más utilizadas en vehículo eléctrico actualmente. Igualmente, las de Oxido de Manganeso-Litio (LMO), que tienen menor rendimiento y ofrecen menos ciclos de carga, las de Fosfato de Hierro-Litio (LFP), de bajo voltaje y baja densidad de energía. Otras baterías que son más caras pero que ofrecen mayor densidad de potencia son las de Titanato de Litio (LTO) y las de Óxido de Aluminio-Cobalto-Níquel-Litio (NCA).

**Tabla A1. Materiales y prestaciones de las distintas tecnologías de litio. Fuente: International Renewable Energy Agency.**

Key active material	lithium nickel manganese cobalt oxide	lithium manganese oxide	lithium nickel cobalt aluminium	lithium iron phosphate	lithium titanate
Technology short name	NMC	LMO	NCA	LFP	LTO
Cathode	$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$ (spinel)	$\text{LiNiCoAlO}_2$	$\text{LiFePO}_4$	variable
Anode	C (graphite)	C (graphite)	C (graphite)	C (graphite)	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Safety					
Power density					
Energy density					
Cell costs advantage					
Lifetime					
BES system performance					
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>-good properties combination</li> <li>-can be tailored for high power or high energy</li> <li>-stable thermal profile</li> <li>-can operate at high voltages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-low cost due to manganese abundance</li> <li>-very good thermal stability</li> <li>-very good power capability</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-very good energy and good power capability</li> <li>-good cycle life in newer systems</li> <li>-long storage calendar life</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-very good thermal stability</li> <li>-very good cycle life</li> <li>-very good power capability</li> <li>-low costs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-very good thermal stability</li> <li>-long cycle lifetime</li> <li>-high rate discharge capability</li> <li>-no solid electrolyte interphase issues</li> </ul>
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>-patent issues in some countries</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-moderate cycle life insufficient for some applications</li> <li>-low energy performance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-moderate charged state thermal stability which can reduce safety</li> <li>-capacity can fade at temperature 40-70°C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-lower energy density due to lower cell voltage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-high cost of titanium</li> <li>-reduced cell voltage</li> <li>-low energy density</li> </ul>

El liones de litio se está convirtiendo en la tecnología de baterías más implantada, aunque sigue teniendo un potencial de desarrollo importante. El desarrollo de baterías avanzadas pasa por mejorar los parámetros de prestaciones, coste y sostenibilidad/seguridad de los sistemas de liones de litio.



## ANEXO II

### Obligaciones de los actores de la Cadena de Valor de las Baterías según la *EU Batteries Regulation*



El análisis de los requisitos reglamentarios establecidos en el Reglamento sobre baterías establece responder a cuatro preguntas claves:

- 1) ¿Cuáles son las responsabilidades relacionadas con el pasaporte de batería?
- 2) ¿Quién es el principal responsable y, responsable legal?
- 3) ¿Cuándo se transfieren las responsabilidades/obligaciones a otro actor (casos de transferencia)?
- 4) ¿Cuáles son las consecuencias en caso de incumplimiento?

### 1) ¿Cuáles son las responsabilidades relacionadas con el pasaporte de batería?

#### *Responsabilidad vs responsabilidad legal*

*La responsabilidad es una obligación, es decir, tener que hacer algo. Responsabilidad legal significa que uno está sujeto a repercusión si no se cumplen los deberes, por ejemplo, ser responsable de los daños causados. La noción de responsabilidad se acerca más a la de “deber”, mientras que la noción de responsabilidad legal se acerca más a la de “riesgo”.*

Se puede hacer una distinción entre obligaciones específicas, donde el actor responsable está claramente definido. Pero no existe una responsabilidad general explícita de un actor para todos los requisitos relacionados con el Battery Passport.

El operador económico que comercializa la batería o la pone en servicio es responsable de:

- a. Atribuir un identificador único que está vinculado al código QR con el que está marcada la batería con el fin de hacer accesible el pasaporte de la batería.
- b. “Garantizar que la información en el pasaporte de la batería sea precisa, completa y actualizada”
- c. Almacenar los datos incluidos en el pasaporte de la batería.

Los demás requisitos, incluida la regulación del acceso, así como el diseño técnico y el funcionamiento del pasaporte de la batería, no designa un actor específico responsable de su cumplimiento. No se define explícitamente si el operador económico que coloca la batería en el mercado también es responsable de esto. Sin embargo, se indica que “la responsabilidad del cumplimiento de las disposiciones del pasaporte de la batería debe recaer en el operador económico que comercializa la batería”, lo que implica que esta responsabilidad se refiere a todos los requisitos.

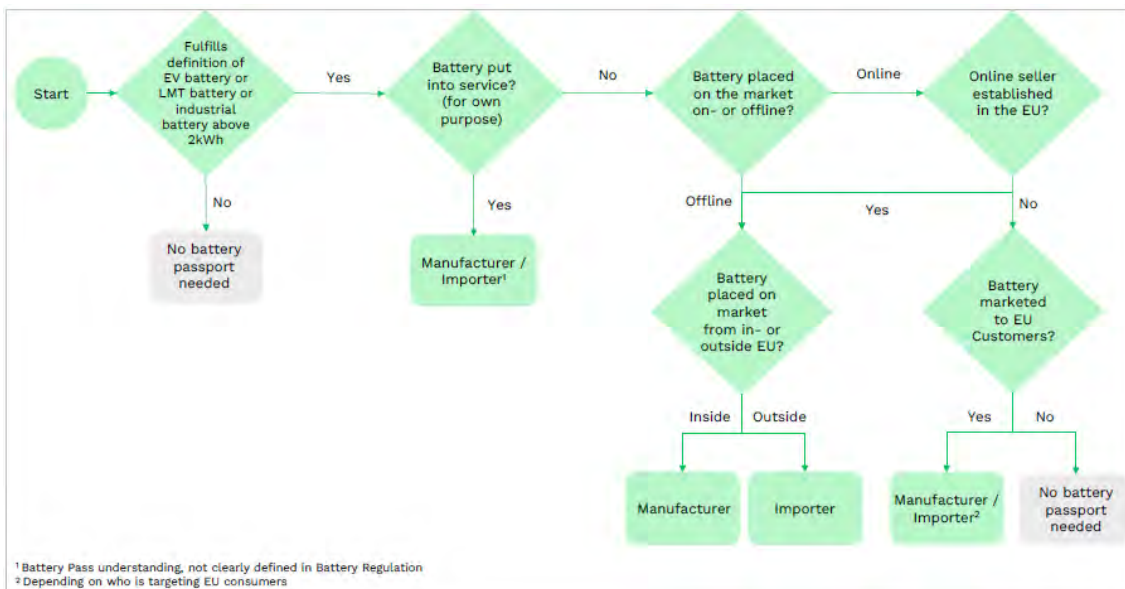
#### a. ¿Quién es el principal responsable y, responsable legal?

El punto de partida de la responsabilidad es el concepto de operador económico:

- a. Cualquier entidad (el fabricante, el representante autorizado, el importador, el distribuidor o el proveedor de servicios de cumplimiento o cualquier otra persona física o jurídica)
- b. Quién está sujeto a:
  - o Obligaciones en relación con la fabricación de baterías
  - o Preparar las baterías para su reutilización
  - o Preparar baterías para su remanufactura
  - o Ponerlos a disposición o comercialización

En el caso concreto del pasaporte de baterías, esta gama inicial de posibles operadores económicos es limitado hasta cierto punto por las actividades de “colocar una batería en el mercado” o “ponerla en servicio”. De conformidad con las responsabilidades específicas es el operador económico que comercializa la batería y quien asume las responsabilidades ante el pasaporte de la batería. Sin embargo, en el caso de que la batería no haya sido comercializada, la actividad que determina el actor responsable.

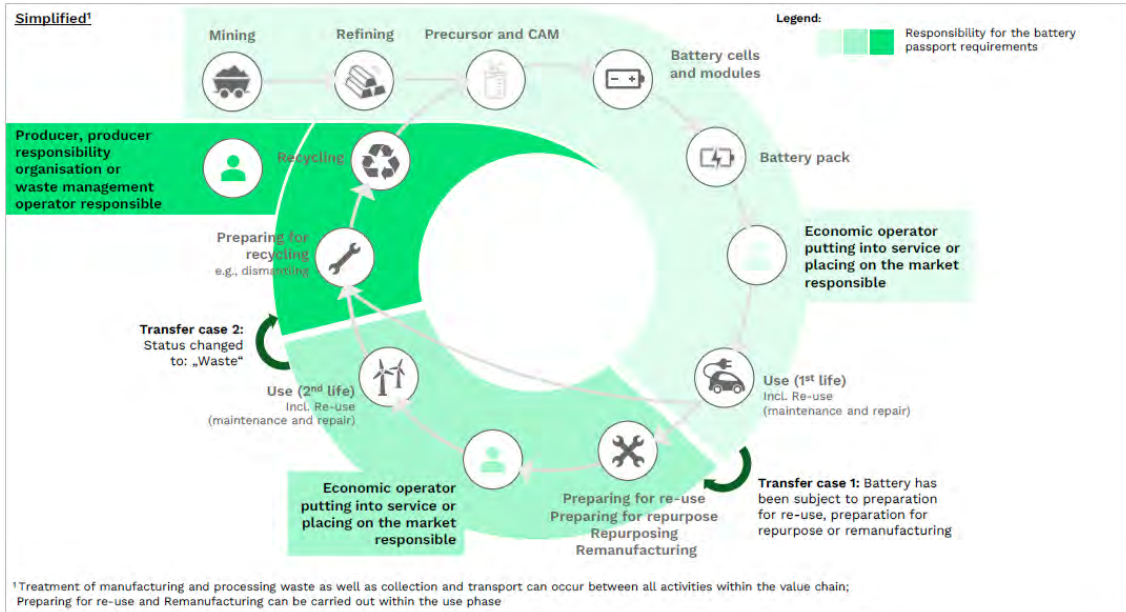
Además, el pasaporte de batería solo es necesario para categorías de batería específicas definidas: LMT, baterías industriales de más de 2 kWh y baterías para vehículos eléctricos comercializadas o puestas en servicio.



**Figura AII.** Árbol de decisiones que delimita los tipos de operadores económicos responsables del pasaporte para baterías. Fuente: Battery Pass

**b. ¿Cuándo se transfieren las responsabilidades/obligaciones a otro actor (casos de transferencia)?**

La siguiente figura visualiza estas cajas de transferencia a lo largo de la cadena de valor de la batería:



**Figura AII.** Responsabilidades en relación con el pasaporte de batería según lo definido por el Reglamento de baterías, visualizado a lo largo de una cadena de valor simplificada. Fuente: Battery Pass

Esto demuestra que la responsabilidad del operador económico se extiende durante un período de tiempo en el que la batería está en uso, tiempo en el que el operador económico es probable que no posea o tenga control directo sobre la batería.

**Caso de transferencia 1:** La batería ha sido objeto de preparación para su reutilización, preparación para su reutilización en segunda vida, reconfiguración o remanufactura

Dado que una batería que ha sido objeto de preparación para cualquiera de estos usos, se considera un producto nuevo, y se requiere un nuevo pasaporte de batería “vinculado al pasaporte o pasaportes de la batería del original batería o baterías”. En este caso, la responsabilidad por el registro de datos se transfiere al nuevo “operador económico que ha colocado esa batería en el mercado o lo ha puesto en servicio”.

*Ejemplo.- Una empresa energética europea reutiliza las baterías de vehículos eléctricos para convertirlas en baterías industriales mayores de 2 kWh y las pone en servicio para su propio almacenamiento estacionario → Esta empresa se convierte en el operador económico responsable. Sin embargo, no está claro si el “nuevo” operador económico sólo tiene la responsabilidad de almacenar los datos en el nuevo pasaporte o de todo lo demás.*

**Caso de transferencia 2:** El estado de la batería cambia a “Residuos”



Cuando el estado de la batería cambia a batería de desecho, la responsabilidad no está claramente definida y se puede transferir al **productor** o al **gestor de residuos**. En este caso, no se requiere un pasaporte de batería nuevo.

*Ejemplo.- Un propietario privado de un vehículo eléctrico tiene que desechar su coche, incluida la batería del vehículo eléctrico. Para esto devuelve el vehículo eléctrico al OEM del automóvil, que es el operador económico responsable y también responsable de las obligaciones ampliadas del productor, quien cambia el estado de la batería y la envía a su red de reciclaje → > El Reglamento no deja claro si la responsabilidad en este caso recae en el OEM del automóvil, al productor (si es designada por el OEM), o se transfiere al operador de gestión de residuos que realiza el reciclaje.*

### c. ¿Cuáles son las consecuencias en caso de incumplimiento?

El Reglamento sobre baterías aún no figura en la legislación de armonización de la Unión (UE) 2019/1020. Sin embargo, al modificar específicamente este reglamento, ambos reglamentos se aplicarán en caso de incumplimiento.

Como el Reglamento sobre baterías no define específicamente las consecuencias del incumplimiento de los requisitos del Battery Passport, las consecuencias legales públicas dependen de los respectivos Estados miembros y sus autoridades de vigilancia del mercado según lo regulado en UE 2019/1020 y no se definen las consecuencias a nivel europeo.

Las declaraciones anteriores se refieren al incumplimiento de obligaciones o deberes de derecho público. Sin embargo, esto no implica necesariamente responsabilidad civil. La introducción de la batería en el mercado puede dar lugar a diversas reclamaciones derivadas de la relación entre el operador económico responsable y el usuario final. Estos pueden ser de naturaleza contractual o de la Ley de Responsabilidad del Producto.



## ANEXO III

### Ejemplo práctico sobre criterios e indicadores de circularidad durante el ecodiseño



Dada la falta de documentación o estudios públicos que evalúen el potencial de implementación de criterios e indicadores de circularidad en la práctica, se resume a continuación las conclusiones de un estudio de la Universidad de Mondragón (A. Picatoste et al; Julio 2023) en el que se recopilaban 55 criterios de diseño y 15 indicadores de EC aplicables a baterías de EV y se analizó su alcance respecto a las etapas de ciclo de vida y estrategias de ecodiseño que abordan. Estos criterios fueron evaluados por 10 productores de componentes de baterías.

**EJEMPLO PRÁCTICO | “Guía de apoyo a la toma de decisiones en el diseño circular y gestión del ciclo de vida de baterías de vehículos eléctricos: criterios e indicadores de circularidad” (A. Picatoste et al; Julio 2023)**

Este estudio presenta la percepción de los profesionales de la industria de baterías de EVs respecto a la importancia y potencial implementación de criterios e indicadores de circularidad en los procesos de diseño. La metodología empleada consta de seis etapas:

- i. Identificación y análisis del alcance de criterios de circularidad,
- ii. Identificación y análisis del alcance de indicadores de circularidad
- iii. Integración de criterios e indicadores de circularidad.
- iv. Evaluación de criterios e indicadores por profesionales industriales
- v. Análisis de resultados: priorización, limitaciones y oportunidades
- vi. Propuesta conceptual de herramienta de diseño circular de baterías.

La siguiente tabla presenta las puntuaciones de los 5 criterios de diseño y 5 indicadores de EC priorizados por los expertos industriales:

*Tabla AIII. Resumen del top 5 de criterios de diseño e indicadores prioritarios (A. Picatoste et al; Julio 2023)*

Descripción	Etapas Ciclo de Vida					Estrategia Circularidad			Percepción Industrial		
	Materiales	Manufactura	Transporte	Operación	EoL	Optimización recursos	Alargar vida útil	Cerrar ciclo	Importancia	Viabilidad	Prioridad
<b>Criterio de Diseño</b>											
Proveer un producto funcional y de calidad		x		x		x	x		93%	89%	<b>83%</b>
Considerar la legislación vigente y futura	x	x		x	x	x	x	x	94%	68%	<b>64%</b>
Producción más sostenible		x				x			81%	65%	<b>53%</b>



Utilizar soluciones digitales (ej. IoT)				x	x	x	x	x	76%	68%	<b>52%</b>
Evitar el uso de materiales tóxicos	x				x			x	83%	59%	<b>49%</b>
<b>Indicador de Circularidad</b>											
Índices EoL	x	x	x		x		x	x	61%	44%	<b>22%</b>
Indicador de circularidad del producto	x	x		x	x	x	x	x	68%	38%	<b>21%</b>
Índice de circularidad	x				x	x		x	51%	48%	<b>20%</b>
Índice de producto circular	x	x		x	x	x	x	x	67%	36%	<b>20%</b>
Índice de economía circular					x			x	44%	52%	<b>19%</b>

Los criterios de diseño circular prioritarios (>50%) impactan principalmente en la optimización del uso de recursos en la etapa de diseño y manufactura; mientras que en la etapa de EoL criterios como “diseñar para un reciclaje óptimo” fueron menos prioritarios al estar centrados en el cierre de ciclo de los materiales y, por tanto, no ser del dominio de quienes producen componentes de baterías.

Por contra, los indicadores de EC mejor valorados (>20%) se basan en el cierre de ciclo de los materiales, mientras que los indicadores orientados en alargar la vida útil son considerados menos prioritarios. En general, los indicadores de circularidad fueron menos valorados/priorizados (<23%) que los criterios de diseño (hasta 84%). Los expertos consultados no usan hasta la fecha indicadores de EC como los presentados en esta tabla, ni conocían los datos requeridos para calcularlos, mientras que los criterios de diseño prioritarios sí son considerados en la práctica habitual.



## ANEXO IV

### Mapa de empresas Europeas directamente relacionadas con baterías de segunda vida





"Battery-News.de" elabora una serie de mapas de Europa recogiendo una muestra ilustrativa y no exhaustiva de algunos de los principales actores europeos en diferentes ámbitos de la cadena de valor de las baterías. Ente estos mapas, el que se presenta a continuación muestra un extracto de empresas europeas directamente relacionadas o que apoyan las aplicaciones de baterías de segunda vida.

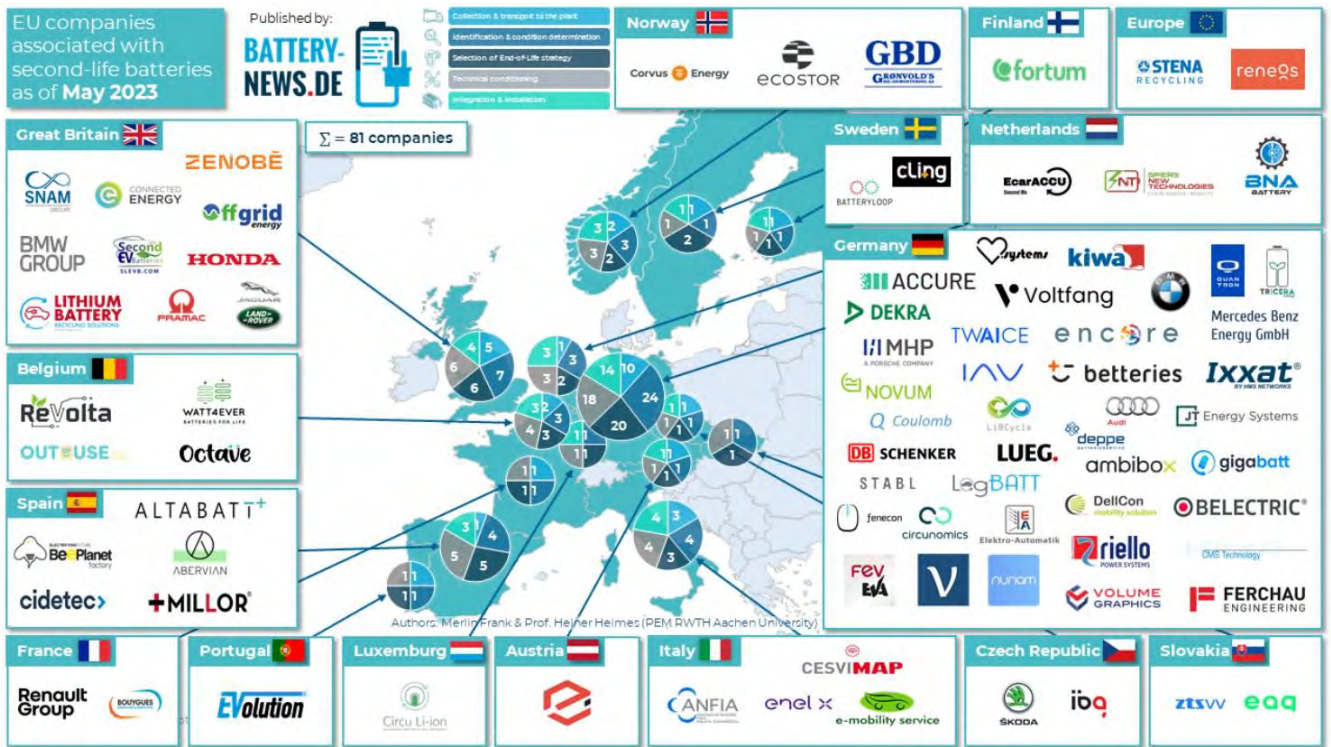


Figure AIV. Mapa de empresas Europeas directamente relacionadas con baterías de segunda vida, Mayo 2023.

(Fuente: <https://battery-news.de/en/europe-2nd-life-application/#>).



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