



ELLEN MACARTHUR
FOUNDATION

LIDERANDO LA TRANSICIÓN

**CONVERTIR EL
RIESGO EN BENEFICIO
MEDIANTE UNA
ECONOMÍA CIRCULAR
PARA LAS BATERÍAS
DE LOS VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS Y LOS
MINERALES CRÍTICOS**

ÍNDICE

00	RESUMEN EJECUTIVO	8
01	RIESGOS SISTÉMICOS EN LA CADENA DE VALOR DE LAS BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	13
02	HACIA UNA TRANSFORMACIÓN SISTÉMICA DE LA ECONOMÍA CIRCULAR DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	21
03	CINCO ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA IMPULSAR EL LIDERAZGO EN BATERÍAS CIRCULARES PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	39
04	ANÁLISIS EN PROFUNDIDAD Y ESTUDIOS DE CASO EN LOS TRES ÁMBITOS DE ACCIÓN	51
	APÉNDICE	66
	NOTAS FINALES	68

Los vehículos eléctricos están ganando terreno rápidamente y, con ellos, las baterías y los minerales críticos que sustentan la transición. **Este cambio está generando importantes oportunidades comerciales, pero también está llevando a la industria automotriz a pasar de cadenas de valor centradas en los combustibles a cadenas de valor centradas en los materiales**, lo que expone a las empresas y a las economías a la volatilidad de los precios, a cuellos de botella en el suministro y a crecientes riesgos ambientales y sociales.

Elaborado por la Fundación Ellen MacArthur, **este informe expone cómo una visión práctica, estructural y sistémica de la economía circular puede transformar el sector de las baterías de vehículos eléctricos** para generar valor económico y, al mismo tiempo, fomentar la resiliencia. Articula un marco de visión sistémica en el que las baterías ofrecen la mayor movilidad y los mejores servicios energéticos posibles; se mantienen en uso de alto valor mediante el mantenimiento, la reparación, el reacondicionamiento y la refabricación; y, en última instancia, se recogen y reciclan con alta calidad para que los minerales críticos nunca se conviertan en residuos.

Este informe plasma esta ambición en cinco ciclos circulares que se refuerzan mutuamente (desde el uso intensivo, la extensión de la vida útil y el aprovechamiento en cascada hasta las aplicaciones de segunda vida, el reciclaje de alta calidad y el intercambio de información que los hace posibles) **y tres niveles de acción circular:** el diseño de productos y componentes, los modelos de negocio y los sistemas más amplios de infraestructura, finanzas y políticas. Nuestro marco de visión se basa en más de 15 años de investigación, promoción y colaboración en materia de economía circular entre los sectores público y privado, y en una amplia gama de sectores e industrias.

Basado en ejemplos prácticos y en las áreas de oportunidad que ya están surgiendo a lo largo de la cadena de valor, y **a partir de la colaboración directa con los actores estratégicos y los líderes** de toda la cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos, ofrece recomendaciones de carácter comercial dirigidas a las industrias de baterías para vehículos eléctricos y a los actores estratégicos asociados —fabricantes de equipos originales (OEM) y fabricantes de baterías, empresas de reciclaje y proveedores de logística, actores del sector de la energía y la movilidad, formuladores de políticas e inversionistas— con el fin de acelerar una economía circular de las baterías que sea competitiva, escalable y justa. Destila los factores más relevantes para la toma de decisiones que deben utilizarse ahora y ofrece una plataforma para que las organizaciones profundicen en el análisis y la implementación en su propio contexto.

Alcance e intención

Es importante tener en cuenta el alcance. Este informe no pretende ser un catálogo exhaustivo de todas las intervenciones circulares, mecanismos empresariales o instrumentos de política. La omisión de enfoques específicos no implica que estos carezcan de importancia. Además, este informe evita deliberadamente reproducir las previsiones cuantitativas y los modelos de escenarios que se incluyen en los informes sobre perspectivas de minerales críticos y en los estudios sobre reciclaje. Por el contrario, **el informe está dirigido a un público de toda la cadena de valor y da prioridad a temas con viabilidad comercial** que puedan impulsarse a través de la colaboración, la inversión y la promoción de políticas, y que puede reforzarse gracias a la experiencia en economía circular y al papel de facilitador de la Fundación Ellen MacArthur.

Consideramos que esta publicación es **uno de los muchos pasos iniciales de la Fundación Ellen MacArthur en una campaña plurianual dedicada a acelerar la economía circular de los minerales críticos en la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos**. Partiendo de los aspectos positivos que aquí se destacan, trabajaremos con socios, miembros y otros actores estratégicos para desarrollar conocimientos más profundos, vías de implementación específicas para cada sector y propuestas detalladas de colaboración industrial, con el objetivo de impulsar nuevas acciones a gran escala.

Jonquil Hackenberg
CEO
Fundación Ellen MacArthur

Wen-Yu Weng
Directora ejecutiva – Minerales críticos
Fundación Ellen MacArthur

“Este documento ofrece un plan práctico para ampliar la circularidad a lo largo de las cadenas de valor, al tiempo que destaca la necesidad de contar con un suministro de materiales producidos de manera responsable para satisfacer la creciente demanda. Demuestra que la circularidad de las baterías no puede basarse únicamente en el reciclaje; prolongar la vida útil de las baterías y facilitar nuevas vías de reutilización son aspectos esenciales para maximizar la durabilidad y la vida útil de los minerales y metales que contienen. A medida que la economía se aleja de los combustibles fósiles, las estrategias circulares serán fundamentales para garantizar que estas reservas limitadas de materiales sigan utilizándose de forma productiva durante el mayor tiempo posible.”

**Dana Cartwright, Directora (interina) de Innovación
ICMM**

“El Centro de Tecnología e Investigación Automotriz de China es un importante centro de estudios chino dedicado al desarrollo del reciclaje de materiales de baterías como solución fundamental a las limitaciones en materia de recursos minerales críticos. Comprometidos con la colaboración con la Fundación, hacemos un llamado a una mayor cooperación global para establecer normas unificadas y una gobernanza de datos, con el fin de lograr una economía circular de alto valor para los minerales críticos.”

**Equipo de baterías para vehículos eléctricos
CATARC**

“La Fundación Ellen MacArthur propone un enfoque sistémico para la gestión de la vida útil de las baterías de los vehículos eléctricos y de los minerales críticos. Se trata de un avance importante en el debate sobre la economía circular aplicada a las baterías de los vehículos eléctricos. Se han abordado temas como la reutilización, el reacondicionamiento, el reciclaje y la optimización del diseño, pero sin presentarse de manera coherente, como lo ha logrado aquí la Fundación Ellen MacArthur. La Institución Faraday se enorgullece de haber contribuido a este informe, en consonancia con su objetivo de ofrecer soluciones de baterías que sean sostenibles, de alto rendimiento y seguras.”

**Andrew Deadman, Gerente de Alianzas Internacionales
de I+D
FARADAY INSTITUTION**

“Este informe ofrece un marco claro y oportuno para traducir los principios de la economía circular en medidas prácticas y escalables aplicables a las baterías de vehículos eléctricos y los minerales críticos. Al vincular los objetivos políticos con vías operativas reales, demuestra cómo la colaboración industrial y el diseño de cadenas de suministro circulares pueden reducir el riesgo, generar valor y fomentar la resiliencia a lo largo de todo el ciclo de vida de las baterías. Las conclusiones son de gran relevancia para los actores del sector logístico que buscan pasar de modelos lineales a sistemas circulares a gran escala.”

**Sajeda Ismail, Gerente de Redes Comerciales de EVB
DHL SERVICE LOGISTICS**

“Los sistemas de baterías circulares ya no son una opción, sino que son esenciales para la competitividad a largo plazo, la seguridad del suministro y la resiliencia en toda la cadena de valor de los vehículos eléctricos. Leading the Charge aporta la claridad sistémica que tanto se necesita y un lenguaje común que permite a la industria, a los formuladores de políticas y a la sociedad civil alinearse en torno a vías prácticas hacia una economía circular de las baterías. En la Alianza Global de Baterías hemos estado facilitando los esfuerzos colectivos a lo largo de toda la cadena de valor de las baterías, entre otras cosas a través del ‘Pasaporte de Baterías’, con el fin de crear marcos fiables y armonizados que recompensen las prácticas responsables, incentiven el diseño circular y la recuperación de materiales, y transformen las limitaciones en valor resiliente y equitativo; esperamos colaborar con socios expertos como la Fundación para acelerar el progreso.”

**Inga Petersen, Directora Ejecutiva
GLOBAL BATTERY ALLIANCE**

“Este informe ofrece un resumen completo e ilustrativo de los conceptos clave para un uso circular de las baterías. La perspectiva holística sobre el tema, que incluye el diseño de las baterías, la maximización de la durabilidad, la facilitación de la reutilización y la posibilidad de reparación, es una contribución importante al debate que con frecuencia se reduce a una recuperación eficiente de minerales mediante el reciclaje. Los estudios de caso ofrecen ejemplos útiles de la viabilidad y las ventajas de muchos de estos conceptos.”

**Dr. Georg Bieker, Director del Centro de Cadenas
de Suministro
ICCT**

“Este informe ofrece una hoja de ruta clara para aprovechar todo el potencial de la circularidad en las baterías de los vehículos eléctricos y los minerales críticos. En Syensqo, creemos que la colaboración e innovación intersectoriales son esenciales para construir cadenas de suministro resilientes y sostenibles. Nos enorgullece apoyar iniciativas que impulsan un cambio positivo tanto para la industria como para la sociedad.”

**Laurent Cohen, Desarrollo Estratégico y Alianzas
para Soluciones Mineras**

SYENSQO

“La electrificación es el futuro, ya que ofrece a las personas vehículos más eficientes y reduce las emisiones a lo largo del ciclo de vida. Y la electrificación debe ir de la mano de la circularidad. Este informe muestra cómo la economía circular puede ayudar a reducir riesgos, salvaguardar los recursos y acelerar la transición hacia una movilidad climáticamente neutra, para que nuestros clientes puedan disfrutar de automóviles duraderos y fabricados de forma responsable.”

Vanessa Butani, Directora de Sostenibilidad Global

VOLVO CARS

“El sistema energético del futuro se puede definir con tres palabras: distribuido, inteligente y circular. A diferencia de los combustibles fósiles, que se queman al usarlos, los materiales para los sistemas energéticos con cero emisiones de carbono se pueden reciclar. La circularidad no es solo una responsabilidad medioambiental; es la base de la competitividad económica y la resiliencia del sistema en la era del carbono cero.”

Robin Zeng, director ejecutivo

CATL

“Este informe es una lectura obligatoria para cualquiera que intente comprender cómo nosotros, como comunidad global, podemos perseguir la circularidad de las baterías de los vehículos eléctricos y cómo asegurarnos de que el impacto de estas baterías en el medioambiente y en las comunidades de todo el mundo pueda minimizarse.”

Renske Schuitmaker, Oficial de Gestión de Programas

**PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL MEDIOAMBIENTE**

“Una estrategia europea común para la economía circular de las baterías es importante para resolver el problema de la acumulación de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil y puede convertirse en una oportunidad industrial para Europa. Para lograrlo, necesitamos cooperar más allá de las fronteras, tanto en el ámbito de la investigación como en el del desarrollo industrial.”

Nina Dahl, directora de investigación

SINTEF

“El Grupo BMW acoge con satisfacción este informe y su perspectiva integral a nivel de sistema sobre el establecimiento de una economía verdaderamente circular en toda la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos. Ofrece una hoja de ruta sólida y pragmática para su implementación. Al mismo tiempo, reconocemos que hacer realidad esta visión exigirá avances ambiciosos en materia de diseño, modelos de negocio innovadores, cooperación intersectorial y un marco normativo propicio. El Grupo BMW está listo para contribuir a la transición hacia una economía circular y ayudar a liderarla. Esperamos trabajar con muchos socios que compartan esta ambición.”

**Jörg Lederbauer, vicepresidente de Economía Circular,
Suministro de repuestos para baterías de alto voltaje
y sistemas de propulsión eléctricos**

BMW GROUP

EQUIPO PRINCIPAL

Wen-Yu Weng

Directora ejecutiva - Minerales críticos

Cindy Venho

Gerente de programas
- Minerales críticos

Lenaïc Gravis

Gerente de Desarrollo Editorial

João Merico

Asociado sénior de Estrategia -
Minerales críticos

Shaobo Zhou

Analista de Proyectos
(oficina de China)

Hanxiang Cong

Gerente de Proyectos
(oficina de China)

Ian Banks

Consultor Editorial independiente

EQUIPO AMPLIADO

Alex Hedley

Diseñador gráfico sénior

Ariel Bramble

Gerente sénior de Desarrollo -
Ingresos

Constance des Courieres

Responsable de políticas de
minerales críticos - Políticas

Danoush Mohajeri

Gerente de Alianzas
- Minerales Críticos

Emily Pearce

Gerente de proyectos
de comunicaciones

Katie Attrill

Gerente de Redes - Minerales Críticos

Laura Collacott

Editora independiente

Matt Barber

Diseñador gráfico

Pip Dragonetti

Gerente sénior de desarrollo
- Filantropía

Yisong Guan

Representante jefe de la oficina
de Pekín

Ziwei Yang

Gerente de comunicaciones
(oficina de China)

COLABORADORES

La Fundación Ellen MacArthur desea agradecer a las organizaciones y personas que han contribuido a la elaboración de este informe con sus aportaciones constructivas. Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestros socios y miembros, así como a los principales actores estratégicos del sector, cuya experiencia y comentarios han fortalecido este informe.

Africa E-Mobility Alliance

Arkema

BASF

BMW Group

CATARC

Cling Systems

Contemporary Amperex Technology Co Ltd (CATL)

DHL Service Logistics

Global Battery Alliance

GRST

ICCT

ICMM

JLR

Polestar

SINTEF

Stena Recycling

Syensqo

The Faraday Institution

United Nations Environment Programme (UNEP)

Volvo Cars

Zhejiang Huayou Recycling Technology Co., Ltd.

Tenga en cuenta que la contribución al documento, o a cualquier parte del mismo, así como cualquier referencia a una organización de terceros que aparezca en el estudio, no implica ningún tipo de asociación o relación de representación entre los colaboradores y la Fundación, ni supone que dicho colaborador o tercero respalde las conclusiones o recomendaciones del estudio.

ACERCA DE LA FUNDACIÓN ELLEN MACARTHUR

La Fundación Ellen MacArthur es una organización benéfica internacional que desarrolla y promueve la economía circular con el fin de hacer frente a algunos de los mayores retos de nuestro tiempo, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación. Trabajamos con nuestra red de responsables de la toma de decisiones del sector público y privado, así como con el mundo académico, para fomentar las capacidades, explorar oportunidades de colaboración y diseñar y desarrollar iniciativas y soluciones de economía circular.

Basada cada vez más en las energías renovables, la economía circular se basa en un diseño que tiene como objetivo eliminar los residuos, hacer circular los productos y materiales, y regenerar la naturaleza, con el fin de generar resiliencia y prosperidad para las empresas, el medioambiente y la sociedad.

Mais informações:
ellenmacarthurfoundation.org

Para citar este informe, utilice la siguiente referencia: Fundación Ellen MacArthur, Liderando el cambio: Convertir el riesgo en oportunidad con una economía circular para las baterías de vehículos eléctricos y los minerales críticos (2026)

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

El presente documento ha sido elaborado por la Fundación Ellen MacArthur (la “Fundación”). La Fundación ha actuado con cuidado y diligencia en la preparación de este documento, basándose en información que considera fiable, pero no ofrece ninguna declaración ni garantía, ni asume ningún compromiso (ya sea explícito o implícito) en relación con el mismo o con cualquiera de sus contenidos (en cuanto a su exactitud, integridad, calidad, idoneidad para cualquier propósito, cumplimiento de la ley, etc.). La Fundación no supervisa ni modera ningún sitio web o recurso externo al que se haga referencia o que sea mencionado en este documento. Este documento no pretende ser exhaustivo y ninguno de sus contenidos debe interpretarse como un consejo de ningún tipo. La decisión de basarse en él queda a discreción y riesgo del lector.

En la medida máxima permitida por la legislación aplicable, la Fundación, cada entidad de su grupo y cada una de sus organizaciones benéficas asociadas, así como sus respectivos empleados, trabajadores, directivos, agentes y representantes, declinan toda responsabilidad por cualquier pérdida o daño de cualquier tipo (ya sea directo o indirecto, por contrato, agravio, incumplimiento de obligaciones legales o de otro tipo) que surjan de o en relación con este documento o cualquiera de sus contenidos.

La Fundación no es proveedora ni está afiliada de ninguna otra forma a terceros o a los productos o servicios mencionados en este documento, ni los recomienda ni los respalda.

Baterías para vehículos eléctricos: una prioridad estratégica en auge

Las baterías de los vehículos eléctricos (VE) se están convirtiendo en la clase de activos estratégicos de la transición energética. A medida que se acelera su adopción, la transición automotriz pasa de los vehículos centrados en el combustible a los centrados en los materiales. Un VE típico, según algunas estimaciones, contiene más de 200 kg de minerales críticos, aproximadamente seis veces más que un vehículo con motor de combustión interna (ICE). Y, más concretamente, las baterías de los vehículos eléctricos dependen de una serie de minerales críticos de gran valor, como el litio, el grafito, el cobalto y el níquel.

La cadena de valor actual de las baterías para vehículos eléctricos sigue caracterizándose por un uso intensivo de materiales, una concentración geográfica y una estructura lineal, lo que genera riesgos sistémicos a medida que crece la demanda. La posible escasez de minerales clave, la exposición a daños ambientales y sociales, y los retos que plantean la extracción, el procesamiento, la fabricación y el reciclaje podrían aumentar los costos, desestabilizar los mercados, intensificar la volatilidad de los precios y ralentizar la implantación. En conjunto, estas dinámicas acentúan la fragilidad de la cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos precisamente en el momento en que el sistema necesita expandirse rápidamente.

Es necesario un rediseño circular sistémico en toda la cadena de valor. Un rediseño más amplio de los productos y componentes, los modelos de negocio y el sistema de energía y movilidad es esencial para fortalecer la resiliencia y reducir los riesgos sistémicos. Por lo tanto, para ampliar la transición hacia las baterías circulares para vehículos eléctricos, es necesario ir más allá de las soluciones incrementales y de “fin de proceso” y avanzar hacia un rediseño a nivel sistémico. Un rediseño que genere oportunidades económicas en toda la cadena de valor, reduzca la intensidad de materiales, mitigue los riesgos de suministro y disminuya los impactos ambientales y sociales.



La economía circular: convertir el riesgo en ventaja competitiva

Un enfoque de economía circular puede convertir estos retos en una oportunidad competitiva. Al mantener las baterías y los minerales críticos en usos de alto valor a lo largo de múltiples ciclos de vida, y al diseñar los sistemas de movilidad, energía, datos y políticas que los rodean, una economía circular de baterías para vehículos eléctricos resulta económicamente viable a gran escala. Para los líderes empresariales de toda la cadena de valor, este enfoque no es un complemento, sino una palanca estratégica a nivel directivo para:

- **Proteger los márgenes** aumentando la utilización, prolongando la vida útil de las baterías y evitando sustituciones prematuras.
- **Reducir la exposición** a los mercados volátiles de minerales y a las cadenas de suministro concentradas.
- **Crear nuevas fuentes de ingresos y modelos de negocio** gestionando las baterías y los materiales como activos (servicios, actualizaciones, segundas vidas y flujos de minerales circulares).

- **Fortalecer la resiliencia y la capacidad de operar** en un contexto de inestabilidad geopolítica y endurecimiento de la regulación.

La forma en que se obtienen, utilizan y recuperan los minerales críticos de las baterías de los vehículos eléctricos determina el valor y el riesgo predominantes en la cadena de valor de estos vehículos, lo que convierte a la economía circular en un imperativo estratégico para los líderes del sector. Las decisiones empresariales que rigen la gestión de estos minerales (a través de la estrategia, los modelos de negocio y el diseño) tendrán un impacto profundo tanto en el valor comercial que las empresas pueden generar como en su exposición a las interrupciones en el suministro, los costos y otros riesgos a lo largo de la cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos. Ahora que el mercado de los vehículos eléctricos entra en una fase de rápida expansión, este es el momento de dar forma a estos sistemas operativos: la inversión temprana en enfoques de economía circular puede ofrecer la mejor oportunidad para potenciar la resiliencia, la competitividad y el valor a largo plazo.

Más allá de los silos: hacia una estrategia sistémica

El discurso y las iniciativas actuales en torno a la economía circular siguen estando fragmentados y, a menudo, se centran en las etapas finales del ciclo de vida. Se han elaborado análisis fiables sobre el crecimiento de la demanda de vehículos eléctricos, las limitaciones en materia de minerales, la capacidad de reciclaje y las vías de actuación política, y se han movilizado iniciativas del sector, centradas principalmente en el reciclaje y, en menor medida, en la reutilización. Sin embargo, este enfoque limitado puede dejar de lado palancas significativas, innovadoras y de alto valor agregado que podrían aplicarse antes del reciclaje. Al mismo tiempo, los problemas relacionados con la brecha entre la oferta y la demanda siguen sin abordarse a corto plazo, dado el importante desfase temporal entre la producción de las baterías y el final de su primera vida útil, mientras que se ejerce una presión desproporcionada sobre la rápida ampliación de la infraestructura de reciclaje sin tener en cuenta un conjunto más amplio de soluciones para el fin de la vida útil.

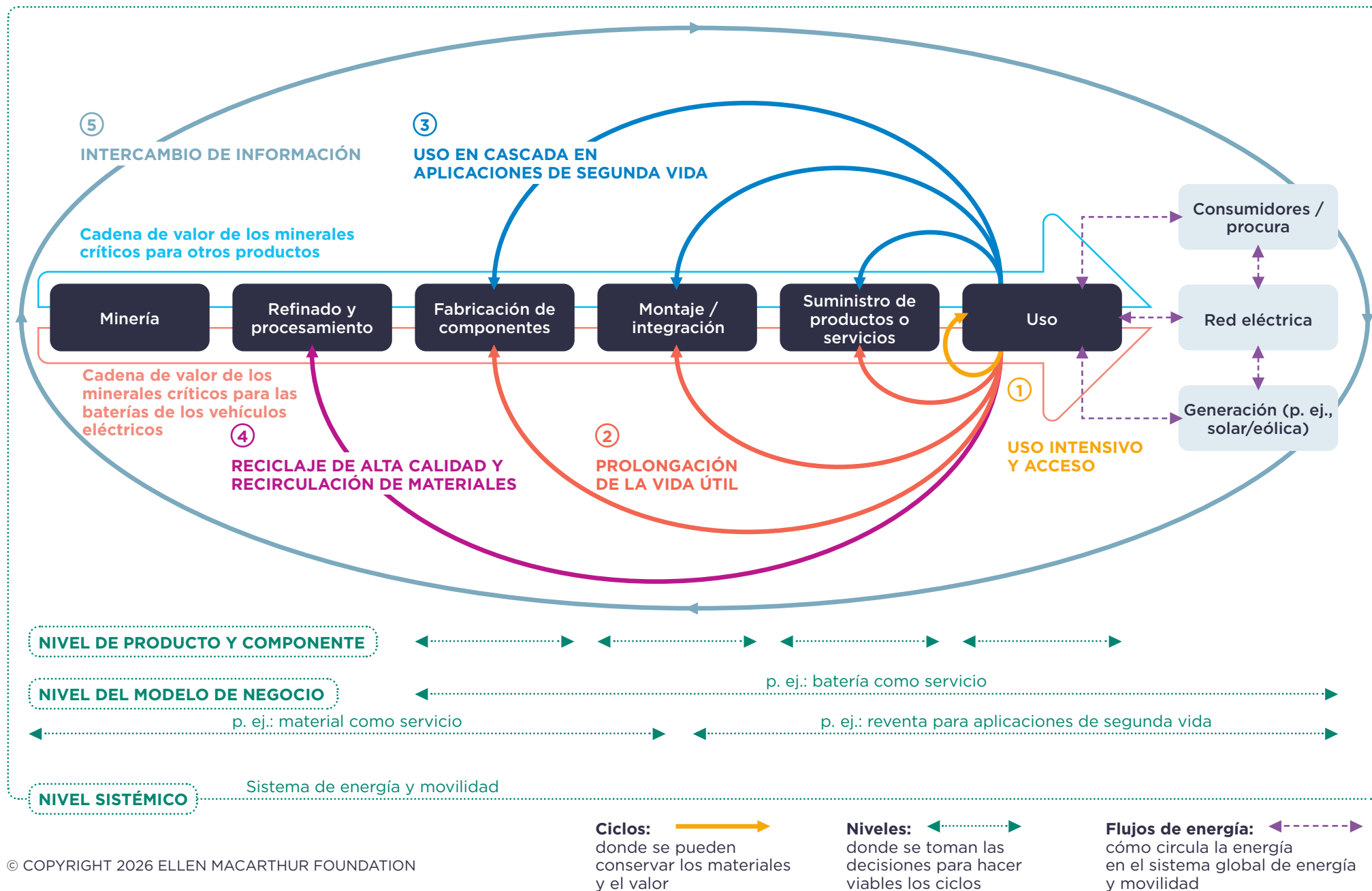
La visión de la economía circular que se expone en este informe reorienta deliberadamente el debate y las ambiciones, pasando de la optimización al final del ciclo de vida al rediseño a nivel de sistema. Los beneficios económicos de la economía circular para las baterías de vehículos eléctricos se desarrollan gracias a la acción coordinada y colectiva de los actores de la cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos, y no mediante iniciativas aisladas. Las decisiones que se toman en cada etapa de la cadena de valor pueden limitar o facilitar las actividades de la economía circular en todas las demás etapas. Por ejemplo, las decisiones iniciales sobre el diseño y la arquitectura de las baterías, el acceso a los datos y la propiedad determinan cómo las baterías pueden circular de manera práctica hacia las fases posteriores de la cadena de valor. Del mismo modo, el acceso al mercado, las normas y las señales determinan en qué medida los actores de las fases iniciales pueden innovar e invertir en actividades circulares con confianza. Las dependencias exactas, las compensaciones y las cuestiones pendientes deberán modelarse y adaptarse a las realidades del mercado local y de la regulación, a fin de que los líderes empresariales y los formuladores de políticas puedan gestionar de manera eficaz las baterías y sus minerales críticos como los activos estratégicos que son.

El resultado es un marco de referencia relevante desde el punto de vista comercial que ayuda a los líderes a convertir las ambiciones en materia de economía circular, pasando de proyectos piloto dispersos a una estrategia coherente de cadena de valor, y que pone de relieve el valor financiero tangible y las ventajas estratégicas más amplias. Ofrece un lenguaje común para coordinar las inversiones, las alianzas y el desarrollo de capacidades, así como para identificar las fugas de valor, la acumulación de riesgos y las intervenciones que generan los mayores beneficios para el sistema. El informe traduce todo esto en medidas concretas desde dos perspectivas:

- 1. Cinco ciclos circulares para las baterías de vehículos eléctricos,** que ilustran los “ciclos internos” en los que se puede conservar el mayor valor (uso intensivo, extensión de la vida útil y uso en cascada), el “circuito exterior” de reciclaje de alta calidad y el circuito general de intercambio de información, que actúan como facilitadores clave en todo el sistema.
- 2. Tres ámbitos de acción** que dan vida a la economía circular, mostrando cómo se puede aplicar el pensamiento circular para generar un cambio sistémico en cada uno de ellos:
 - Diseño de productos y componentes
 - Modelos de negocio
 - Sistemas

Cómo la economía circular impulsa la innovación y la creación de valor en todo el sistema de minerales críticos para las baterías de vehículos eléctricos

10



Impulsar el cambio sistémico: cinco puntos clave de acción para el liderazgo

Se identificaron cinco áreas de oportunidad, con gran potencial para la colaboración entre cadenas de valor,

a partir de información recabada entre actores estratégicos y estudios de casos reales. Para cada uno, el informe plantea las medidas inmediatas que los actores del sistema pueden adoptar para impulsar un progreso significativo.

Los líderes de toda la cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos pueden actuar ahora mismo centrándose en cinco medidas estratégicas:

1. Diseñar baterías para la circularidad, no para su eliminación.

Reconsiderar las baterías de vehículos eléctricos no como activos de un solo uso, sino como componentes duraderos de un sistema más amplio de movilidad y energía, diseñados intencionalmente para durar, desmontarse y reutilizarse en diferentes aplicaciones a lo largo de múltiples ciclos de vida. Para lograrlo, el sistema debe incorporar desde el primer momento la modularidad, el desmontaje y separación seguros, el diagnóstico y la trazabilidad, de modo que la reparación, la refabricación, la segunda vida y el reciclaje de alta calidad sean técnica y económicamente viables a gran escala.

2. Repensar el servicio de las baterías dentro de sistemas optimizados de movilidad energética

Redefinir el valor de las baterías no como la máxima capacidad en cada vehículo, sino como la capacidad de ofrecer el rendimiento adecuado para cada uso, con sistemas de movilidad diseñados para facilitar el acceso a los servicios, en lugar de centrarse en baterías cada vez más grandes. Esto se puede lograr alejándonos de productos sobredimensionados y con especificaciones excesivas hacia un dimensionamiento adecuado y una optimización acorde con las necesidades reales. Este cambio debe ir acompañado de un rediseño del sistema de movilidad energética que permita redefinir las expectativas “por defecto” respecto a los requisitos de los vehículos y que ofrezca a los usuarios una utilidad funcional equivalente o superior mediante la innovación en los modelos de servicio a lo largo del resto de la cadena de valor de las baterías de los vehículos eléctricos.

3. Ampliar los modelos de negocio circulares

Hay que reestructurar las baterías y los materiales no como productos que se venden una sola vez, sino como activos que se gestionan a lo largo del tiempo mediante modelos que premian la durabilidad, el rendimiento, la recuperación y el aprovechamiento en aplicaciones de segunda vida, a lo largo de múltiples ciclos de uso. Esto incluye la expansión del modelo “Batería como servicio”, las suscripciones de actualización y mantenimiento, las garantías basadas en el rendimiento, las ofertas estructuradas de segunda vida y los proyectos piloto de “Material como servicio”, de modo que la durabilidad, el tiempo de actividad, la recuperación y el valor residual se conviertan en incentivos comerciales y resultados rentables, en lugar de aspectos secundarios.

4. Construir y coinvertir en infraestructura circular regional

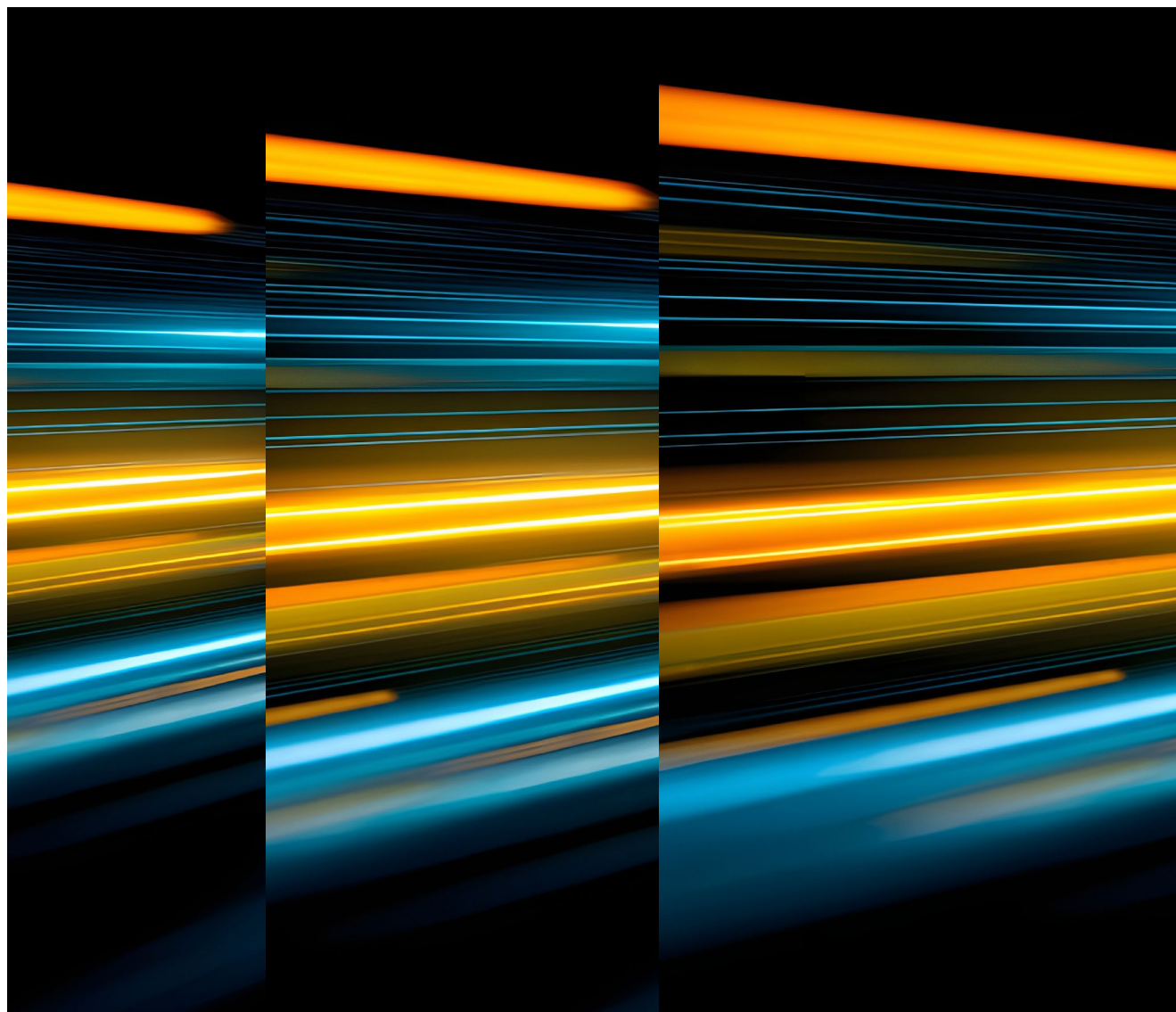
Reimaginar la cadena de valor de las baterías como una red de infraestructura regional e interregional diseñada de manera intencional que permita que los materiales circulen de manera eficiente, resiliente y transparente. Esto implica tratar la recolección, la clasificación, las pruebas y la calificación, la reparación y la remanufactura, la reutilización y el reciclaje como infraestructura central; y reducir el riesgo de la capacidad mediante modelos de inversión compartida y contratos de materia prima y compra a largo plazo que hagan predecibles los flujos circulares.

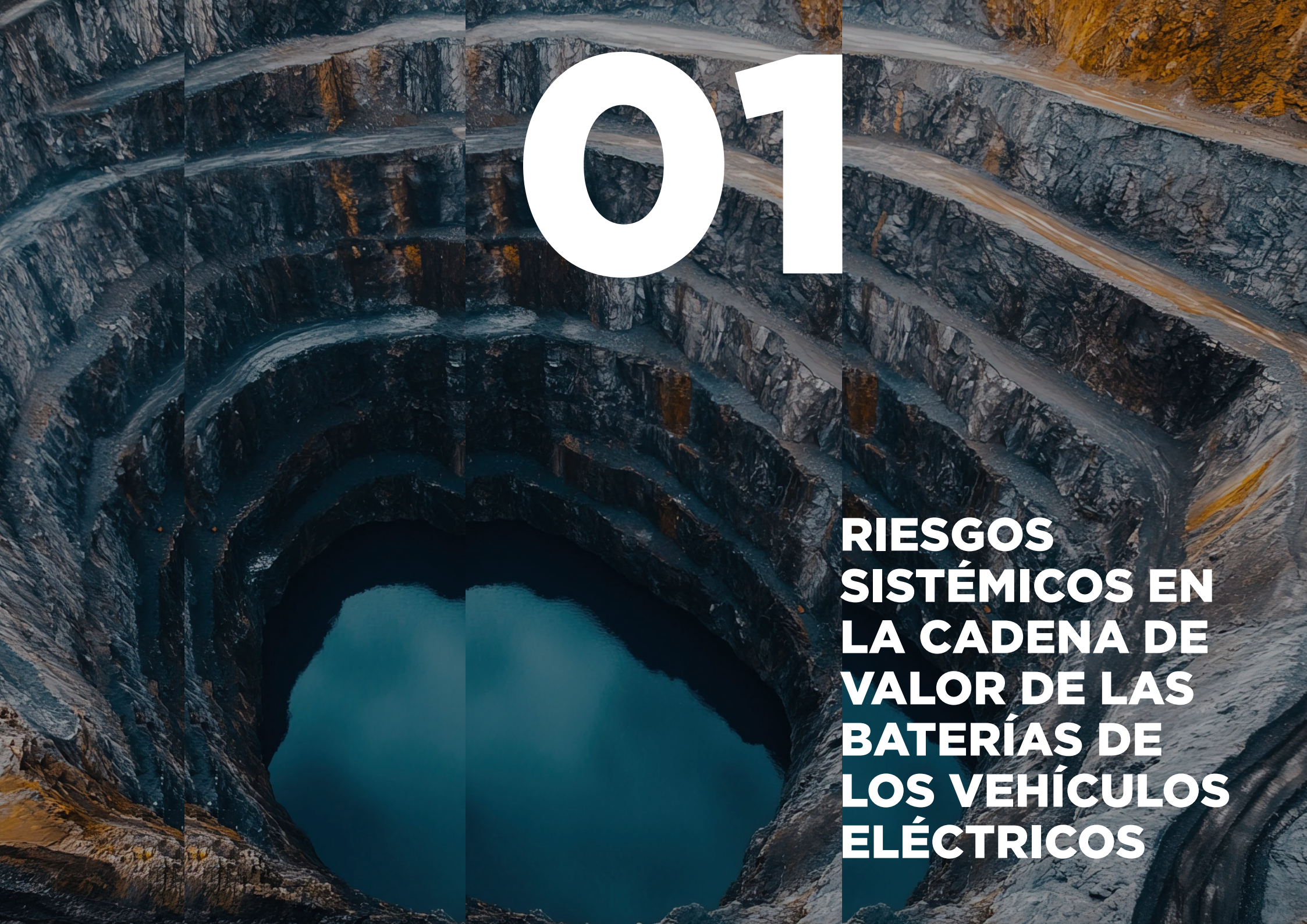
5. Hacer que el sistema operativo circular funcione

Reducir los costos de transacción y brindar a las empresas y a los inversionistas la confianza necesaria para gestionar ciclos de reparación, reutilización y reciclaje a gran escala, mediante la creación de la transparencia y la trazabilidad necesarias en los flujos actualmente ocultos de la economía de las baterías de vehículos eléctricos. Esto se puede lograr mediante la implementación de pasaportes de baterías interoperables y estándares de datos comunes; el alineamiento de definiciones y requisitos (por ejemplo, clasificación al final de la vida útil, normas de transporte y tratamiento); y el fortalecimiento de los mecanismos de garantía para que los mercados secundarios de baterías y materiales puedan funcionar a gran escala con menores costos de transacción y riesgo, yendo más allá del cumplimiento normativo y la estructuración de la infraestructura de mercado.

La Fundación Ellen MacArthur lleva 15 años creando una poderosa red empresarial y política en torno a la visión de una economía que funciona de manera diferente. Para impulsar la implementación a gran escala, la Fundación conecta a actores de todas las cadenas de valor que pueden actuar con rapidez, aprender, adaptarse y mantener el progreso. En este contexto, ya hemos involucrado a más de 30 actores de la industria de las baterías para vehículos eléctricos que representan cada eslabón de la cadena de valor (desde la extracción y el procesamiento hasta la fabricación, la prestación de servicios y el reprocesamiento al final de la vida útil) con el fin de desarrollar una visión de economía circular preparada para el futuro en el sector. Situados en el cruce entre el mundo empresarial y el político, nuestro objetivo es impulsar tres tipos de acciones en la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos: establecer una dirección clara y una alineación para la acción empresarial, de lo cual este informe marca un primer paso; facilitar una colaboración efectiva para movilizar la inversión y la innovación a través de nuevas redes localizadas, empresas conjuntas, infraestructura compartida y coinversión; y promover la defensa colectiva para remodelar las condiciones políticas y normativas necesarias para que un sistema circular de baterías de vehículos eléctricos tenga éxito.

Replantear las baterías de los vehículos eléctricos como activos circulares de alto valor tiene el potencial de ser transformador. Con una visión coherente de dónde se crea o se pierde valor, dónde se acumulan riesgos y dónde las intervenciones generan mayores beneficios a nivel sistémico, la industria podrá ir más allá de las iniciativas circulares fragmentadas para desarrollar resiliencia y valor a largo plazo: protegiendo los márgenes, transformando los modelos de negocio y las fuentes de ganancias, reduciendo la exposición al suministro y manteniendo los minerales críticos en circulación.



An aerial photograph of a massive open-pit mine. The mine is characterized by deep, terraced levels of dark rock, with winding roads visible on the upper slopes. At the bottom of the mine, a large, calm body of water reflects the surrounding rock walls. The overall scene is one of industrial-scale excavation in a rugged, mountainous landscape.

01

**RIESGOS
SISTÉMICOS EN
LA CADENA DE
VALOR DE LAS
BATERÍAS DE
LOS VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS**

Los vehículos eléctricos (VE) están pasando de ser una opción marginal a convertirse en la norma, y las baterías se están transformando en el pilar estratégico de la transición energética. Lo que está en juego es mucho (crecimiento, empleo, innovación, beneficios para los consumidores y reducciones significativas de las emisiones), pero el éxito de esta iniciativa depende de una cadena de valor capaz de escalar con rigor.

La cadena de valor actual de las baterías para vehículos eléctricos sigue siendo, en gran medida, lineal, requiere un uso intensivo de materiales y está potencialmente expuesta a escasez de suministro e interrupciones. En esta sección se exponen los cinco riesgos sistémicos que podrían frenar o desestabilizar el progreso, y se explican las razones por las que potenciar el reciclaje y la reutilización es necesario, pero no suficiente. Se necesita un replanteamiento más amplio que haga que los modelos circulares para las baterías sean fiables y atractivos para la inversión.



LA TRANSICIÓN A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS OFRECE UN POTENCIAL SIGNIFICATIVO PARA EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y LA REDUCCIÓN DE EMISIONES

La adopción de los vehículos eléctricos está en auge.

En 2024, aproximadamente el 20 % de los automóviles nuevos vendidos en todo el mundo eran eléctricos, lo que supuso un total de más de 17 millones de vehículos a nivel mundial. Dependiendo de las políticas gubernamentales, los avances tecnológicos y las tasas de adopción por parte de los consumidores, se prevé que la cuota de mercado de los vehículos eléctricos alcance entre el 65 % y el 75 % de las ventas mundiales de automóviles para 2050.¹

La transición está generando importantes oportunidades económicas. El sector de los vehículos eléctricos es un motor de las economías mundiales, ya que genera nuevas inversiones y puestos de trabajo, y contribuye de manera significativa al PIB.² Aunque las tasas de crecimiento varían según la región, se prevé que el mercado mundial de vehículos eléctricos experimentará un crecimiento sólido y constante, pasando de aproximadamente 892 000 millones de dólares en 2025 a más de 2,1 billones de dólares para 2032.³ El sector en su conjunto está marcando el comienzo de una nueva era de oportunidades estratégicas para el crecimiento, la innovación y la transformación industrial en todos los países.

Además, ya está generando efectos significativos en la reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). La transición hacia los vehículos eléctricos está revolucionando profundamente el mercado del petróleo y provocando un impacto considerable en las emisiones globales de GEI.⁴ La adopción de los vehículos eléctricos ha desplazado más de 1,3 millones de barriles de petróleo al día en 2024, lo que equivale a la demanda total de petróleo de Japón para el sector del transporte.⁵ Se prevé que, para 2035, esta cifra aumente a más de 6 millones de barriles de petróleo al día.⁶



SIN EMBARGO, LA CADENA DE VALOR DE LAS BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ACTUAL SE ENFRENTA A CINCO GRANDES RIESGOS SISTÉMICOS

El sector de las baterías para vehículos eléctricos depende de una cadena de valor capaz de crecer de forma fiable y responsable.

Sin embargo, el enfoque actual sigue siendo en gran medida lineal, consume grandes cantidades de materiales y está geográficamente concentrado, lo que genera riesgos sistémicos que podrían ralentizar la transición si no se abordan. Estos riesgos no son perturbaciones aisladas, sino características estructurales de un modelo de “extraer-producir-desperdiciar” que es intrínsecamente derrochador, externaliza los costos ambientales y sociales, consolida una elevada dependencia de los materiales y amplifica la exposición a la volatilidad de los precios, las tensiones geopolíticas y los impactos ambientales.

Se han identificado cinco riesgos principales que amenazan la transición al elevar los costos generales y aumentar la fragilidad de la cadena de suministro precisamente cuando el sistema necesita escalar. Es por eso que las estrategias de economía circular no son complementos “deseables”, sino soluciones sistémicas que sirven como palancas prácticas para la gestión de riesgos y la competitividad, como una vía clave para que los ciclos de vida de las baterías resulten atractivos para la inversión a gran escala.



Desfase entre la oferta y la demanda

La transición hacia los vehículos eléctricos está impulsando un crecimiento sin precedentes en la demanda de minerales críticos. La fabricación de un vehículo eléctrico medio requiere más de 200 kg de minerales críticos, seis veces más de lo que se necesita para fabricar un vehículo con motor de combustión interna (ICE).⁷ Se prevé que, en las próximas dos décadas, la electrificación de los vehículos de pasajeros impulse aproximadamente la mitad de la demanda de minerales críticos, como el litio, el grafito, el cobalto y el níquel, entre todas las tecnologías de energía limpia.⁸ Alcanzar el objetivo de cero emisiones netas para 2050 implica multiplicar por seis la producción de estos minerales con respecto a los niveles de 2022.⁹ A pesar del reciente aumento en el número de anuncios de proyectos de extracción y refinación, se siguen previendo importantes déficits de suministro para algunos minerales a mediados de la década de 2030, en particular para el litio y el cobre, debido al rápido aumento de la demanda, la disminución natural de la ley de los minerales, el incremento de los costos de capital, recursos limitados para nuevos yacimientos y largos plazos de desarrollo de nuevas minas.¹⁰

Además, la materia prima actual para el reciclaje de baterías proviene en gran medida de los residuos de fabricación. Se prevé que esta tendencia continúe en los próximos años, y que los residuos de los procesos de fabricación sigan representando dos tercios de la materia prima disponible para el reciclaje en 2030.¹¹ Se prevé que los vehículos eléctricos y las baterías de almacenamiento al final de su vida útil empiecen a predominar a partir de 2035, una vez que un volumen suficientemente grande haya llegado al final de su vida útil.¹² Por lo tanto, a corto plazo, el crecimiento del reciclaje está limitado estructuralmente, ya que depende de la producción de baterías nuevas y de las pérdidas de rendimiento en la fabricación. Sin un suministro secundario consolidado procedente de baterías al final de su vida útil, las prácticas de reciclaje actuales, que dependen en gran medida únicamente de los residuos, no pueden cubrir el desequilibrio entre la oferta y la demanda a corto plazo.



Riesgos medioambientales

La demanda de minerales críticos y el posterior procesamiento necesario para transformarlos en productos para baterías de vehículos eléctricos también generan una carga para el medioambiente que, a su vez, desestabiliza la cadena de suministro y la resiliencia general del sistema.

Durante la fase de extracción, la mayoría de las actividades se desarrollan en los puntos críticos de biodiversidad más valiosos del mundo y amenazan a miles de especies y hábitats únicos que no se encuentran en ningún otro lugar del planeta.¹³ Las actividades mineras fueron responsables de una pérdida global de 1,4 millones de hectáreas de cobertura arbórea entre 2001 y 2020,¹⁴ lo que afectó hasta a un tercio del ecosistema forestal mundial, una cifra que se prevé que aumente en los próximos años.¹⁵ Además, generan impactos sustanciales en la biodiversidad de ecosistemas situados a miles de kilómetros de distancia de donde se llevan a cabo, sobre todo a través de los residuos de relaves que se filtran en los suelos y los sistemas hídricos, transportando grandes cantidades de metales pesados y afectando gravemente a las especies y a las comunidades locales.¹⁶

Las actividades de extracción, procesamiento y refinado de materias primas también generan un gran volumen de emisiones,¹⁷ y esto es aún más evidente en el caso de los minerales críticos, cuya intensidad de emisiones es mayor que la de otros metales y materias primas. Por ejemplo, las emisiones derivadas de la producción de una tonelada promedio de níquel de Clase 1 o carbonato de litio son, respectivamente, diez y tres veces mayores que las de la producción de una tonelada de acero.¹⁸ Las etapas posteriores a la extracción, como el procesamiento y el refinado de minerales, también consumen grandes cantidades de agua y utilizan productos químicos que se filtran al aire y a los sistemas hídricos, lo que afecta tanto a la fauna como a la población humana.¹⁹ Estos impactos en los ecosistemas locales y la biodiversidad, junto con las altas emisiones y la notable demanda de agua que generan, contribuyen al aumento de los costos de cumplimiento normativo, las limitaciones de recursos y el mayor riesgo de interrupciones en la producción, lo que debilita la estabilidad económica y la competitividad de la cadena de suministro.

Por último, aunque el reciclaje está avanzando y alcanzando grandes volúmenes de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil en algunos países,²⁰ muchas regiones siguen enfrentándose a una infraestructura de recolección limitada y a incentivos económicos débiles. A medida que se acelera la adopción de los vehículos eléctricos a nivel mundial, también aumenta el riesgo de que los productos y materiales se escapen de la cadena de suministro y terminen en el medioambiente, causando daños a los ecosistemas.

Los altos costos asociados a la infraestructura de reciclaje dificultan aún más la adopción efectiva del reciclaje, lo que desvía un gran número de baterías hacia los mercados informales, donde se gestionan y procesan de forma deficiente, sin los controles medioambientales y de seguridad adecuados. Esto supone un riesgo constante para el medioambiente y la salud.





Riesgos sociales

A lo largo de toda la cadena de valor, desde la extracción de recursos hasta el refinado, la fabricación de celdas y el tratamiento al final de la vida útil, las comunidades se enfrentan a retos persistentes, entre los que se incluyen la degradación de la tierra, la contaminación, las condiciones de trabajo inseguras y las perturbaciones socioeconómicas. Muchos de estos impactos siguen sin abordarse de manera adecuada.^{21,22} En el caso de la minería, si bien puede generar beneficios sociales, como estimular la economía local, aumentar los ingresos y crear empleos locales, también puede generar una gran variedad de problemas sociales cuando se gestiona de manera deficiente. Estos pueden incluir la distribución desigual de los beneficios y los riesgos, la expropiación y el desplazamiento de tierras, los daños a la salud humana por los impactos ambientales, la reducción de los suministros de agua y la contaminación del agua.²³ Estos riesgos suelen ser más graves en las regiones productoras de minerales en economías emergentes y en desarrollo (muchas de ellas en el Sur Global), donde la capacidad de supervisión puede ser desigual y donde las comunidades pueden sufrir impactos significativos sin una participación, un valor o una participación económica proporcionales. La mala gobernanza en la extracción de minerales críticos también se ha relacionado con violaciones generalizadas de los derechos humanos.²⁴ Mientras tanto, la etapa de recolección de residuos que precede al reciclaje también recurre a prácticas laborales peligrosas en algunas zonas, o incluso al trabajo infantil.²⁵ Más allá de sus consecuencias sociales, estas fallas de gobernanza se traducen en riesgos económicos tangibles, que incluyen sanciones regulatorias, retrasos en los proyectos, interrupciones en el suministro y daño a la reputación.



Ineficiencia de los productos y los sistemas

Durante su fase de uso, las baterías suelen estar infrautilizadas, pasando gran parte del tiempo inactivas, sin estar siempre conectadas a la red eléctrica y perdiendo rendimiento debido al envejecimiento.²⁶ Además, los fabricantes de automóviles están dando prioridad a los vehículos con baterías grandes y de largo alcance para satisfacer las expectativas de los consumidores, lo que aumenta la demanda de materiales críticos.²⁷ Sin embargo, muchos automóviles se utilizan en contextos urbanos²⁸ sin necesidad de baterías de tan largo alcance, por lo que se pierde la oportunidad de aumentar la eficiencia en el uso de materiales al obtener más valor de una cantidad reducida de materiales, y de reducir la presión sobre las cadenas de suministro.

Estas ineficiencias se ven agravadas por los diseños y la arquitectura de las baterías, que a menudo dan prioridad al rendimiento inicial frente a la modularidad y la facilidad de reparación. Si bien las mejoras en el rendimiento son vitales, en algunas arquitecturas nuevas y de mayor integración (como ciertos diseños “cell-to-pack” y “cell-to-chassis”), la modularidad, la facilidad de reparación y la facilidad de mantenimiento pueden verse aún más reducidas, lo que dificulta a los actores posteriores de la cadena de gestión al final de la vida útil abrir, reparar, actualizar o reconfigurar las baterías, limitando así las oportunidades de prolongar su uso y recuperar materiales al final de su vida útil.^{29,30}



Cuellos de botella e interrupciones en la cadena de suministro

Otra cuestión no es solo si existen los minerales, sino si pueden transformarse de manera fiable en materiales y celdas aptos para baterías y distribuirse a lo largo de la cadena de suministro. En la actualidad, la minería, el procesamiento de materiales, la fabricación de baterías y el reciclaje al final de la vida útil se concentran en determinadas zonas geográficas.^{31,32} Esta concentración aumenta el riesgo de que se produzcan cuellos de botella e interrupciones en el suministro a causa de fenómenos meteorológicos extremos, interrupciones operativas, fallos logísticos, retrasos normativos o perturbaciones en el comercio. Como consecuencia, los gobiernos y los organismos reguladores han intensificado su atención en la seguridad del suministro, los acuerdos comerciales y los incentivos, así como en la introducción de nuevos incentivos políticos y económicos para el acceso a los fundamentales críticos.³³ Sin embargo, estas políticas por sí solas no resuelven las amenazas subyacentes de interrupción de la cadena de suministro y pueden tanto inflar los precios como ralentizar la transición hacia los vehículos eléctricos y las energías renovables al generar fricciones adicionales, costos añadidos y complejidades.³⁴

Estos riesgos en la cadena de suministro, junto con el aumento de la demanda de baterías para vehículos eléctricos y los minerales asociados a ellas, así como los posibles riesgos de futuros desequilibrios entre la oferta y la demanda, están haciendo que los mercados sean propensos a picos o fuertes fluctuaciones en los precios de los minerales críticos. Esta volatilidad de los precios tiene repercusiones de gran alcance en las cadenas de suministro mundiales: los fabricantes tienen dificultades para asegurar contratos a largo plazo, comprometerse a ampliar la producción y pronosticar los costos; y las empresas mineras y de reciclaje se enfrentan a una mayor incertidumbre a la hora de tomar decisiones de inversión importantes y a largo plazo. Esto se traduce en presión sobre los márgenes para los actores de la cadena de suministro, como los productores de baterías, y en riesgos de asequibilidad para los consumidores, con aumentos de precios de hasta un 40 % o un 50 % en caso de una crisis sostenida en el suministro de metales para baterías.³⁵



MIENTRAS QUE LAS INICIATIVAS DE RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN SE ESTÁN EXTENDIENDO RÁPIDAMENTE, SE NECESITA UNA TRANSFORMACIÓN SISTÉMICA MÁS PROFUNDA

Se están intensificando los esfuerzos para reciclar las baterías de los vehículos eléctricos. Las empresas están reconociendo el papel que desempeña el reciclaje a la hora de reducir los costos de los materiales, aliviar la carga que supone la gestión de residuos y limitar la exposición a los mercados volátiles de materias primas. Los avances en el seguimiento de activos, la clasificación basada en inteligencia artificial y las tecnologías de procesamiento más eficientes están haciendo que el reciclaje sea cada vez más viable y escalable. Se espera que la rápida expansión de las flotas globales de vehículos eléctricos y la vida útil de las baterías entre ocho y doce años genere enormes volúmenes de reciclaje. Según algunas estimaciones, el reciclaje mundial de baterías podría aumentar considerablemente, pasando de 13 000 millones de dólares en 2025 a 114 660 millones de dólares en 2035.³⁶ Paralelamente, los gobiernos de todo el mundo están dando prioridad al reciclaje como pilar de cadenas de suministro seguras y resilientes. Por ejemplo, la UE ha introducido requisitos mínimos de contenido reciclado para minerales clave;³⁷ China ha promulgado regulaciones estrictas y ha construido una amplia infraestructura de recuperación;³⁸ y los ambiciosos objetivos para la adopción de vehículos eléctricos en el sudeste asiático están creando un impulso indirecto para la industria del reciclaje de baterías (por ejemplo, Tailandia tiene como objetivo que el 30 % de las ventas de vehículos sean eléctricas para 2030, mientras que Indonesia y Vietnam apuntan a la adopción total para 2050).³⁹ En los mercados emergentes que experimentan un rápido crecimiento de la movilidad eléctrica, pero donde los sistemas normativos y de reciclaje aún se están desarrollando, existe una oportunidad urgente para planificar con antelación y establecer los sistemas necesarios para la eventual gestión del fin de vida útil de estos productos.

Ya se están llevando a cabo iniciativas para seguir utilizando las baterías de los vehículos eléctricos retiradas.

A medida que las primeras grandes oleadas de vehículos eléctricos llegan al final de su vida útil, las empresas y los gobiernos están tratando de ampliar las soluciones para reutilizar y reciclar sus baterías. Incluso cuando una batería de vehículo eléctrico ya no puede alimentar un vehículo de manera eficiente, suele conservar entre el 70 % y el 80 % de su capacidad original, lo cual es suficiente para una amplia gama de aplicaciones menos exigentes. Esto abre importantes oportunidades de inversión en mercados de productos de segunda vida, como el almacenamiento de energía estacionario, los sistemas de energía de respaldo, las microrredes y la integración de energías renovables.

Sin embargo, estas soluciones por sí solas no pueden resolver los retos subyacentes de la cadena de suministro; para ello es necesario rediseñar el sistema.

Para que el mundo pueda alcanzar los objetivos globales de descarbonización, el uso de baterías para vehículos eléctricos y las reservas de minerales críticos necesarios para ellas tendrán que crecer enormemente en los próximos años. Sin embargo, ampliar el sistema lineal actual agravaría la degradación ambiental, los riesgos sociales y las vulnerabilidades de la cadena de suministro, lo que haría que la transición resultara cada vez más costosa e inestable. Para que el cambio sea económicamente viable, ambientalmente responsable y socialmente justo, es necesario un rediseño fundamental del sistema de baterías de los vehículos eléctricos. Las decisiones que se tomen hoy determinarán si se consolida el sistema lineal o si se impulsa uno que permita que los minerales críticos se mantengan en usos de alto valor a lo largo de múltiples ciclos de vida. Ha llegado el momento de garantizar que la próxima oleada de demanda de baterías para vehículos eléctricos se satisfaga de manera que genere resultados positivos en los ámbitos económico, ambiental y social.

02

**HACIA UNA
TRANSFORMACIÓN
SISTÉMICA DE LA
ECONOMÍA CIRCULAR
DE BATERÍAS PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

UNA VISIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LAS BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En una economía circular ideal, las baterías de los vehículos eléctricos aportan el máximo valor posible a lo largo de todas sus fases de uso, y los minerales críticos utilizados para fabricarlas nunca se convierten en residuos. Esta es la ambición fundamental de una economía circular para las baterías de vehículos eléctricos. Esta visión se ajusta a los principios de la economía circular y se basa en cuatro pilares fundamentales:

- **Los servicios de movilidad y almacenamiento de energía que proporcionan las baterías de vehículos eléctricos se maximizan** durante su fase de uso gracias a su plena integración en los sistemas de movilidad y energía.
- **Las baterías de los vehículos eléctricos se aprovechan al máximo durante el mayor tiempo posible**, ya que están diseñadas para ser mantenidas, reparadas, reacondicionadas y recicladas.
- **Los materiales utilizados para fabricar las baterías de los vehículos eléctricos se mantienen en circulación el mayor tiempo posible, retrasando su eventual eliminación como residuos**, mediante sistemas de recolección y reciclaje de alta calidad y económicamente atractivos.
- **El valor generado por las baterías de los vehículos eléctricos se distribuye de manera equitativa** mediante el empleo de modelos de negocio de alto valor a lo largo de toda la cadena de valor.

Hacer realidad esta visión reportaría beneficios a lo largo de toda la cadena de valor, entre ellos:

- **Frenar la demanda de minerales críticos vírgenes** mediante un uso más eficaz de las baterías de los vehículos eléctricos y de los materiales que contienen.
- **Fortalecer la resiliencia de la cadena de suministro** mediante la circulación de baterías de vehículos eléctricos y minerales críticos en la economía, reduciendo así la exposición de los actores de toda la cadena de valor a la volatilidad de los precios de las materias primas vírgenes y a los cuellos de botella en el suministro.
- **Generar un importante valor económico** mediante un uso más eficaz de los materiales y componentes existentes, lo que se traduce en una reducción de los costos de los materiales y la gestión de residuos a lo largo de toda la cadena de valor, mejores servicios para los usuarios de baterías de vehículos eléctricos y nuevas fuentes de ingresos para los fabricantes.
- **Apoyar los objetivos en materia de clima, biodiversidad y contaminación** mediante la reducción de la demanda de minerales de nueva extracción, el fomento de la expansión de las energías renovables y la reducción de la generación de residuos de baterías de vehículos eléctricos y de los daños ambientales asociados.
- **Distribuir las oportunidades económicas entre los países productores de minerales**, de modo que puedan ascender en la cadena de valor, garantizando en última instancia que los países y las comunidades locales que cuentan con estos recursos sean los que más se benefician, en conformidad con los principios de las Naciones Unidas que orientan la transición energética de los minerales hacia la equidad y la justicia.⁴⁰

Esta visión complementa el enfoque actual en el reciclaje y el uso en cascada mediante la introducción de soluciones sistémicas. Hasta la fecha, la actividad de la economía circular en el sector de las baterías de vehículos eléctricos se ha centrado principalmente en el reciclaje de materiales y en el uso en cascada de las baterías de vehículos eléctricos para fines secundarios una vez que ya no pueden desempeñar su función principal. Por el contrario, las oportunidades en las etapas iniciales que priorizan el rediseño de los sistemas y el uso de “ciclos internos” de reutilización de mayor valor, así como la extensión de la vida útil, han recibido menos atención. El reciclaje y la reutilización a través de usos en cascada seguirán siendo elementos cruciales de una economía circular para las baterías de los vehículos eléctricos, aunque el diseño de las baterías puede mejorarse aún más para que su adopción resulte más factible desde el punto de vista técnico y más viable desde el punto de vista económico. Sin embargo, la visión esbozada anteriormente amplía el concepto de formas igualmente importantes para garantizar que los beneficios que genera se amplíen y se maximicen. Las palancas que se describen a continuación (y que representan oportunidades para poner en práctica los distintos elementos de la visión) constituyen los pasos necesarios para llevar a cabo esa transformación a nivel sistémico.

La economía circular

La economía circular es un sistema en el que los materiales nunca se convierten en residuos y la naturaleza se regenera. En una economía circular, los productos y materiales se mantienen en circulación a través de procesos como el mantenimiento, la reutilización, la restauración, la refabricación, el reciclaje y el compostaje. La economía circular aborda el cambio climático y otros desafíos globales, como la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación, desvinculando la actividad económica del consumo de recursos finitos.

La economía circular se basa en tres principios, impulsados por el diseño:



Eliminar los residuos y la contaminación



Hacer circular los productos y materiales en su máximo valor



Regenerar la naturaleza

La economía circular, basada en la transición hacia las energías y los materiales renovables, es un sistema resiliente que beneficia a las empresas, a las personas y al medioambiente.

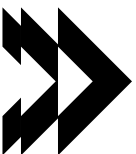
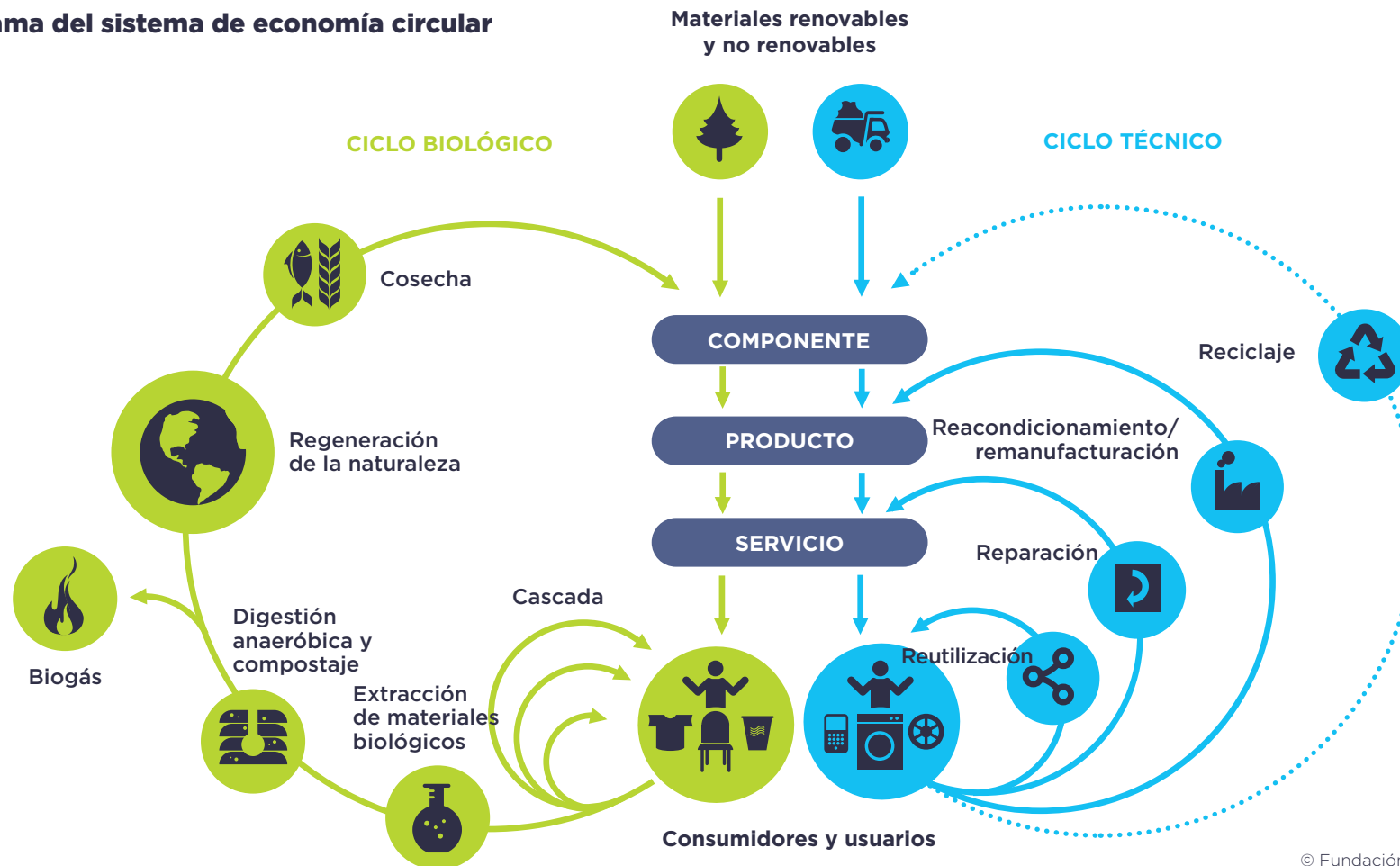


Diagrama del sistema de economía circular



© Fundación Ellen MacArthur Dibujo basado en Braungart y McDonough, De la cuna a la cuna (C2C)

LOS CINCO CICLOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA LAS BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

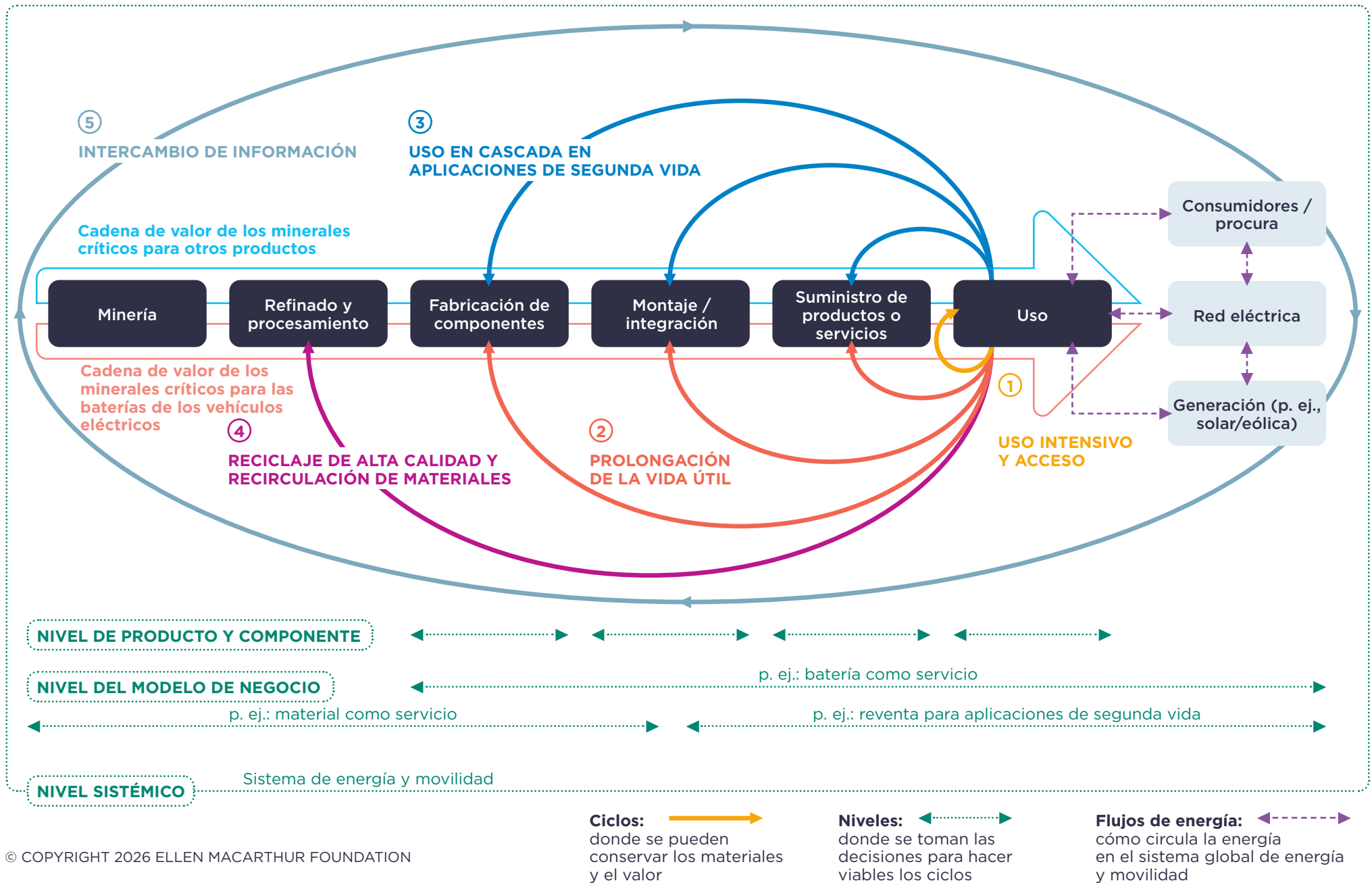
En una economía circular para las baterías de vehículos eléctricos, las intervenciones pueden resumirse en un pequeño conjunto de ciclos circulares en los que las baterías de vehículos eléctricos y los minerales críticos que contienen pueden circular por la economía en lugar de utilizarse una sola vez y desecharse. Estos ciclos suelen reforzarse mutuamente. Por ejemplo, el diseño para el desmontaje (DfD) facilita la reparación, la segunda vida y el reciclaje; el reciclaje de alta calidad crea un suministro secundario confiable que hace que los modelos de negocio circulares resulten más atractivos; mientras que la coherencia entre los datos y las políticas sustenta todos los demás ciclos.

Al mismo tiempo, los ciclos están estilizados deliberadamente. No constituyen un modelo detallado del sistema ni una representación completa de todos los riesgos y compensaciones. Cabe señalar también que no siempre son automáticamente acumulativos; por ejemplo, una mayor utilización o los servicios de vehículo a red (V2G) pueden acelerar la degradación si no se gestionan adecuadamente, y el uso en una segunda vida útil puede retrasar la recuperación de materiales para nuevas baterías. Por lo tanto, el análisis de escenarios, las normas, las políticas y las prioridades de la industria pueden ayudar a determinar qué vía es preferible en cada contexto, y reducir el riesgo de que la optimización de los ciclos locales socave los resultados circulares generales en detrimento de los objetivos políticos o económicos.

Estos ciclos cumplen dos funciones en el debate sobre la economía circular aplicada a las baterías de los vehículos eléctricos:

- proporcionan un lenguaje sencillo para describir cómo funcionan las diferentes áreas de oportunidad;
- ayudan a poner de manifiesto cómo los distintos actores (desde los mineros hasta los fabricantes de equipos originales [OEM] y las ciudades) contribuyen, de hecho, a la misma dinámica subyacente, incluso cuando actúan en diferentes puntos de la cadena de valor.

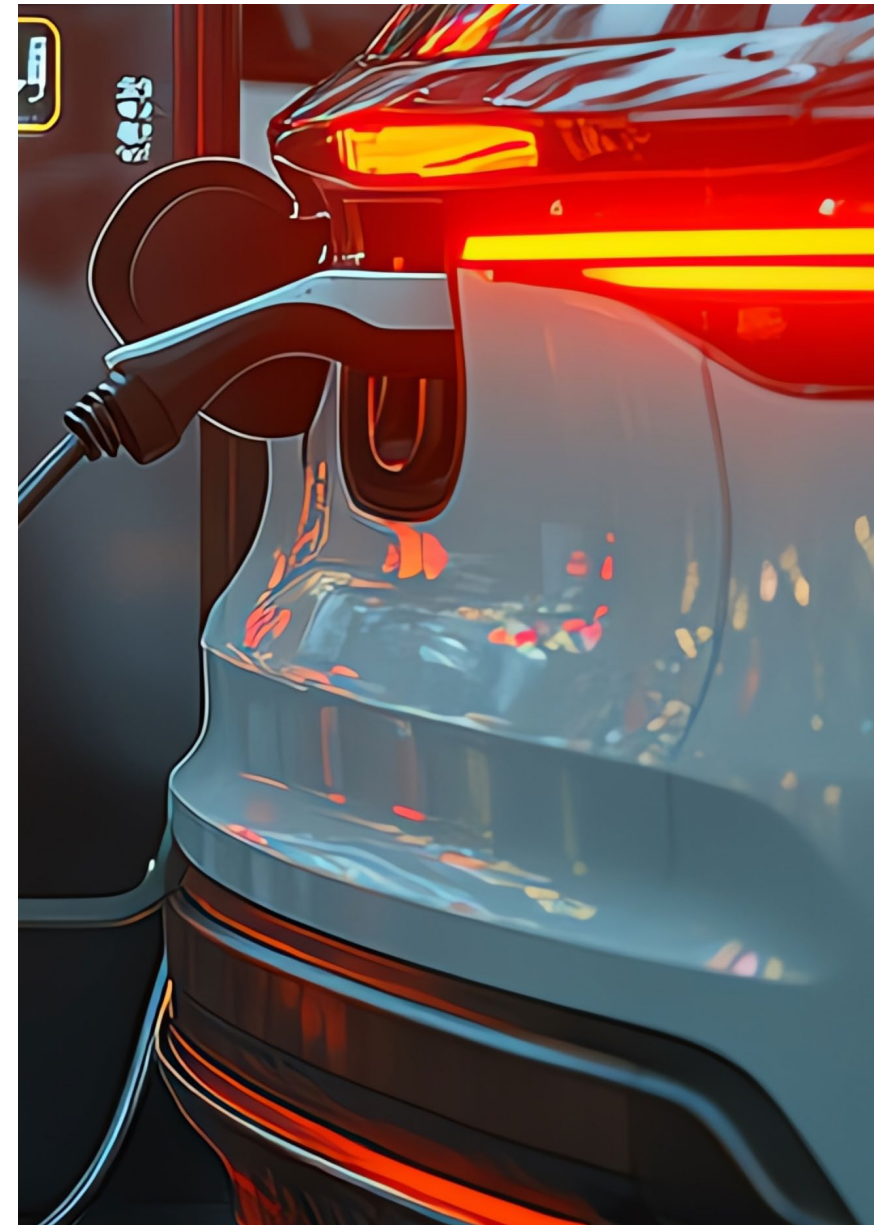
Partiendo del marco de la economía circular y del diagrama del sistema (o “mariposa”) (ver el recuadro 1), a continuación se enumeran los cinco ciclos circulares de especial relevancia para las baterías de los vehículos eléctricos. Cuatro de ellos describen la circulación física de las baterías y los materiales; el quinto es un ciclo facilitador que determina si los ciclos físicos pueden llevarse a cabo a gran escala.



Este ciclo abarca estrategias que aumentan la cantidad de servicios de movilidad y energía prestados por batería, como los sistemas de movilidad compartida y bajo demanda que reducen el tiempo de inactividad y mejoran la utilización, así como el uso de vehículos eléctricos como almacenamiento de energía distribuido a través de servicios V2G (Vehículo a Red) o V2H (Vehículo a Hogar), lo que permite que cada batería preste más pasajeros-kilómetros, toneladas-kilómetros de carga o kilovatios-hora a lo largo de su vida útil. Muestra cómo una mayor utilización puede reducir la intensidad de materiales de la movilidad y el almacenamiento (menos insumos minerales por unidad de servicio), y destaca que la relación fundamental se da entre los servicios prestados y los minerales críticos que circulan en el sistema.

Consideraciones importantes:

- **Efectos sobre la demanda y posibles riesgos de efecto rebote** en los servicios de movilidad y energía.
- **Planificación urbana, cambios de comportamiento y gobernanza** necesarios para alejarse del predominio del automóvil privado (incluida la integración multimodal y la disponibilidad de puntos de recarga).
- **Interoperabilidad entre vehículos, sistemas de recarga y plataformas de servicios**, incluyendo la compatibilidad física de la recarga, la itinerancia y los pagos, el intercambio de datos y (cuando proceda) la comunicación V2G y la participación en el mercado, de modo que los activos puedan compartirse, recargarse y monetizarse entre operadores y más allá de las fronteras.
- **Impactos en materia de equidad y distribución**, incluyendo quién tiene acceso primero y cómo se reparten los beneficios y las cargas entre los usuarios y las regiones.



Este ciclo abarca estrategias que retrasan el deterioro de las baterías a lo largo de su primera vida útil, manteniéndolas en buen estado y devolviéndolas a usos de alto valor cuando dejan de funcionar, lo que incluye un mejor funcionamiento y mantenimiento, la reparación y sustitución de módulos, así como procesos más intensivos de reacondicionamiento y refabricación, gracias al diseño modular, las soluciones de desmontaje y los sistemas de diagnóstico integrados. Esto pone de manifiesto un aumento de la vida útil técnica y económica media de las baterías en su aplicación principal y, por lo tanto, una menor necesidad de baterías nuevas (y de minerales vírgenes) para prestar un nivel determinado de servicios, lo que contribuye a reforzar la resiliencia de la cadena de suministro.

Consideraciones importantes:

- **Aspectos económicos, capacidades técnicas y marcos de seguridad del mundo real** necesarios para prestar estos servicios a gran escala.
- **Condiciones en las que la extensión de la vida útil puede ser subóptima** en comparación con la sustitución acelerada y el reciclaje de alta calidad (por ejemplo, cuando las nuevas composiciones químicas son mucho más eficientes)
- **Distribución de responsabilidades, garantías y obligaciones** entre fabricantes de equipos originales (OEM), talleres de reparación independientes, empresas de remanufacturación, empresas de reciclaje, aseguradoras y organismos reguladores.
- **Enfoques de modularidad y estandarización que preserven la innovación**, abordando las preocupaciones relativas al bloqueo de diseño, la reducción de la innovación competitiva, la diferenciación o la ralentización de las mejoras tecnológicas.



Este ciclo abarca la transición de las baterías desde su uso en automoción de alto rendimiento hacia aplicaciones de segunda vida con requisitos de rendimiento más bajos (como el almacenamiento detrás del contador, las microrredes o los sistemas de respaldo), una vez que dejan de cumplir los umbrales de rendimiento exigidos por la automoción. Se basa en la capacidad de evaluar el estado de salud; clasificar y agrupar los paquetes y módulos usados; y, a continuación, asignarlos a casos de uso estacionarios y modelos de negocio adecuados y seguros. Muestra cómo puede aumentar el número de ciclos de vida útil por batería antes de su desmantelamiento y reciclaje, y cómo las cascadas bien diseñadas pueden reducir la demanda de nuevos paquetes en el almacenamiento estacionario y, por lo tanto, aliviar la presión sobre el suministro de minerales primarios.

Consideraciones importantes:

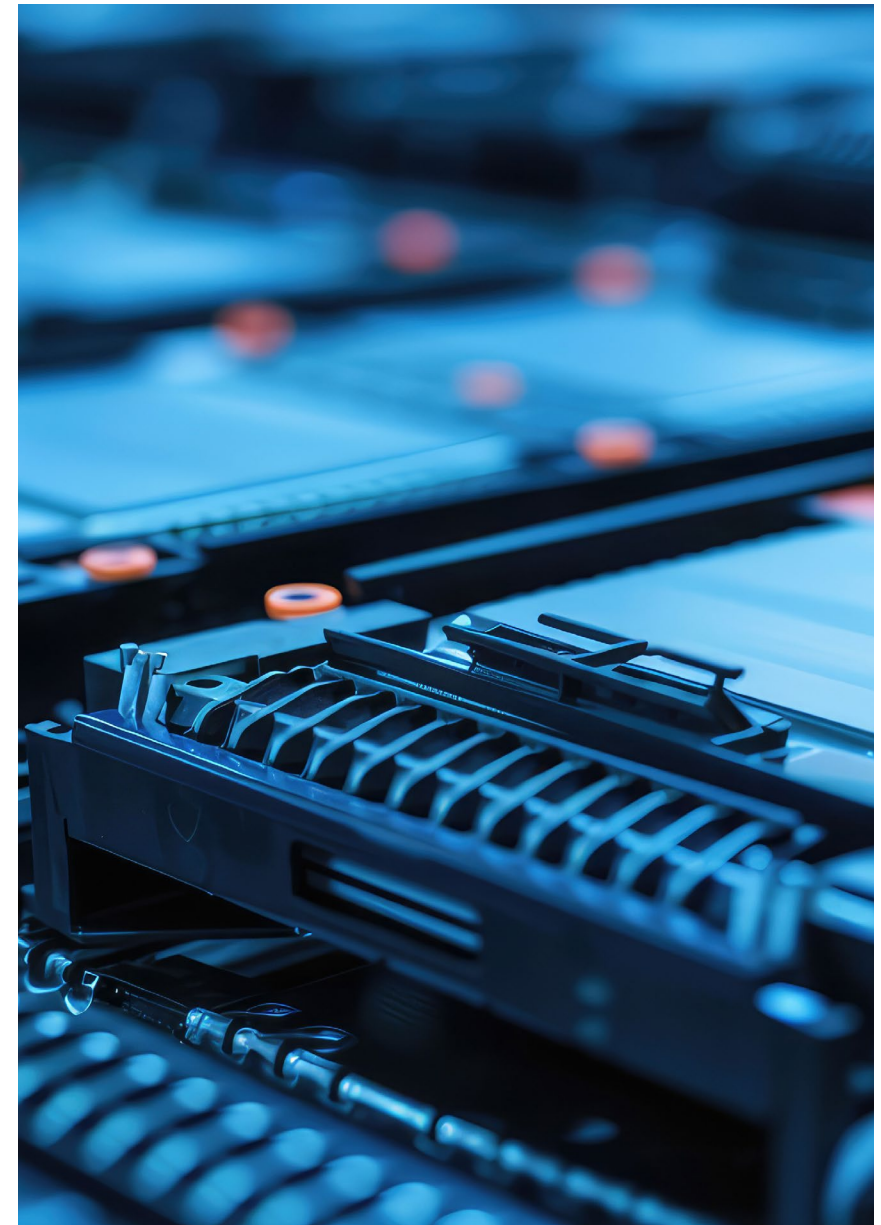
- **Las compensaciones entre retrasar el reciclaje y la disponibilidad oportuna de materiales secundarios** para nuevas baterías de vehículos eléctricos (especialmente en mercados de rápido crecimiento).
- **Desafíos técnicos y normativos relacionados con la recombinación de componentes usados heterogéneos**, como diferentes paquetes o módulos (incluidos protocolos de prueba, normas, garantías, certificaciones y consideraciones de seguridad, especialmente cuando se reutilizan en aplicaciones de segunda vida a través de vías informales).
- **Acceso al mercado y valorización de activos de segunda vida**, como los sistemas de almacenamiento a escala de red, analizando las normas de interconexión, los requisitos de despacho o agregación y los mecanismos de ingresos en diferentes contextos de sistema.
- **Logística, almacenamiento y transporte: cumplimiento normativo para las baterías usadas**, incluyendo la manipulación segura, las normas de almacenamiento provisional y las restricciones al transporte transfronterizo (así como el riesgo de que se filtren hacia canales mal regulados).
- **Competitividad económica de los sistemas de segunda vida frente a nuevas opciones de almacenamiento**, como los impactos de la caída de los precios de las baterías nuevas, las nuevas composiciones químicas, las expectativas de garantía y otros costos relacionados con las pruebas, el equilibrio del sistema y la integración.



Este ciclo representa la recuperación de minerales críticos de baterías al final de su vida útil con un alto rendimiento y en formas adecuadas para aplicaciones de grado batería, a través de rutas hidrometalúrgicas, pirometalúrgicas o de reciclaje directo emergentes, suponiendo que la recolección, la logística y el preprocesamiento conecten de manera confiable las baterías al final de su vida útil con las instalaciones adecuadas. Muestra cómo un porcentaje cada vez mayor de materiales secundarios en la producción de celdas y baterías puede reducir progresivamente la dependencia de la extracción de materias primas vírgenes, y cómo los “ciclos cerrados” (con pérdidas mínimas en forma de escorias, productos de baja calidad o residuos no gestionados) ayudan a estabilizar el suministro y respaldan los modelos de negocio circulares.

Consideraciones importantes:

- **Restricciones de tiempo al final de la vida útil y retraso en el suministro de materia prima** en un mercado en rápido crecimiento (incluido el retraso adicional creado por el uso de segunda vida). Alinear consideraciones económicas, operativas y de política entre **el aumento de la capacidad de reciclaje y los volúmenes de materia prima disponibles**, incluyendo la incertidumbre en el acceso y la calidad de la materia prima, las tasas de retorno, el riesgo de utilización y la viabilidad de la inversión.
- **Impactos ambientales y sociales de las operaciones de reciclaje**, incluyendo el consumo de energía, las emisiones, la contaminación local y la gobernanza necesaria para gestionarlos.
- **Dinámicas competitivas y riesgo de calidad** (ej., vías de bajo rendimiento o bajo costo que socavan la recuperación de alta calidad ante la ausencia de normas e incentivos claros).
- **Clasificación reglamentaria y normas de transporte para los productos intermedios de reciclaje (en particular, la masa negra)**, incluyendo su calificación como residuos peligrosos o no peligrosos, los códigos de residuos y las implicaciones para los flujos transfronterizos y la capacidad de refinación nacional.
- **Cálculo, verificación y presentación de informes armonizados sobre la eficiencia del reciclaje y la recuperación de materiales**, incluidos los requisitos de documentación y las definiciones de las fracciones de salida utilizables.
- **Riesgos de convergencia entre las composiciones químicas de las baterías en evolución y las vías de reciclaje**, incluyendo cómo los cambios en la composición de materiales alteran el valor de recuperación, los rendimientos y la rentabilidad del refinado “grado de baterías”.



Este ciclo facilitador sustenta todos los ciclos físicos anteriores al capturar la circulación de datos sobre los flujos de materiales, que determinan cómo se pueden localizar, evaluar, trasladar y tratar las baterías y los materiales para lograr resultados circulares. Por ejemplo, esto puede incluir pasaportes digitales de productos y sistemas de trazabilidad que respalden la durabilidad, la reparabilidad y la recuperación de alta calidad. Este ciclo opera a nivel de sistema (ver más al respecto en la sección 2.3) y debe integrarse en cada etapa de la cadena de valor. Muestra cómo una mejor información puede cerrar las brechas de rendición de cuentas, hacer visibles las responsabilidades a lo largo de la cadena y crear las condiciones para la inversión en modelos de negocio e infraestructuras circulares.

En la práctica, el acceso a la información y a los datos determina cómo se toman las decisiones sobre el destino de las baterías a través de las vías de reparación, reutilización o reciclaje. Por ejemplo, sin información confiable y portátil sobre el estado de las baterías, es difícil valorar las baterías usadas, verificar su idoneidad para una segunda vida útil o dirigir los paquetes de manera eficiente hacia la vía de mayor valor.



Consideraciones importantes:

- **Garantizar un uso legítimo de la información** exige determinar cuáles son los datos y la información más importantes que se deben compartir, y a quién se le debe dar acceso a ellos. Esto será de vital importancia para garantizar que lo que se comparta permita, en la práctica, el funcionamiento de los demás ciclos de materiales. Para garantizar que estas cuestiones se respondan de manera eficaz, se necesitan procesos de gobernanza inclusivos que representen a los productores, fabricantes, recicladores, trabajadores y comunidades afectadas al principio de la cadena.
- **Acuerdos de confianza, confidencialidad e intercambio de datos entre los actores.** La circulación de la información depende de marcos de intercambio de datos confiables que protejan la sensibilidad comercial, aclaren el acceso y la propiedad, y eviten la retención de datos que socava la trazabilidad y el rendimiento del sistema.
- **Interoperabilidad y riesgos de fragmentación en los pasaportes digitales y los sistemas de trazabilidad.** La existencia de múltiples iniciativas descoordinadas en materia de pasaportes y trazabilidad de las baterías puede dar lugar a sistemas fragmentados, aumentar los costos de cumplimiento y limitar la circulación transfronteriza de las baterías y materiales.
- **Mecanismos de calidad, verificación y auditabilidad de los datos.** Para que los datos sobre las baterías sean fiables, deben ser precisos, verificables y auditables a lo largo del tiempo. Esto requiere protocolos consensuados para la recopilación y la presentación de datos, mecanismos de verificación independientes y sistemas sólidos de cadena de custodia que permitan el seguimiento de los materiales y componentes a lo largo de sus ciclos de vida.
- **Alineamiento normativo transfronterizo y complejidad jurídica.** Los flujos de datos sobre baterías de vehículos eléctricos están sujetos a múltiples normativas, entre ellas la legislación comercial, las definiciones relativas a los residuos y al fin de la vida útil, las normas de transporte y la regulación financiera. La falta de alineamiento entre jurisdicciones puede obstaculizar los ciclos circulares, como la reutilización o el reciclaje transfronterizos.
- **Dimensiones más amplias de licencia social y justicia.** La transparencia en materia de abastecimiento, condiciones laborales, impactos ambientales y el consentimiento comunitario es fundamental para mantener la confianza pública y la licencia social. La gobernanza de los datos debe garantizar que los beneficios de los sistemas circulares de baterías de vehículos eléctricos se compartan de manera justa y no reproduzcan las desigualdades existentes.

Tabla 1 **Cómo los ciclos de la economía circular abordan los riesgos sistémicos en la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos**

Ciclos circulares »	Uso intensivo y acceso	Extensión de la vida útil(reparación, reacondicionamiento y remanufacturación)	Uso en cascada en aplicaciones de segunda vida	Reciclaje de alta calidad y recirculación de materiales	Intercambio de información
Brecha entre la oferta y la demanda	Aumenta los servicios prestados por unidad de capacidad instalada (movilidad compartida/bajo demanda, V2G), reduciendo el insumo de minerales por unidad de servicio.	Ralentiza la tasa de sustitución de las baterías existentes, de modo que se pueda brindar más servicio con el mismo stock antes de que sea necesaria una nueva producción.	Redirige las baterías usadas hacia el almacenamiento estacionario y otras aplicaciones, sustituyendo las nuevas y aliviando la presión sobre la demanda de minerales en esos sectores. Aunque puede retrasar el reciclaje.	Devuelve los minerales críticos al mercado de suministro como material secundario, reduciendo progresivamente la demanda de materiales con el tiempo (con un desfase).	Mejora la visibilidad de los stocks de baterías y los flujos de materiales (por ejemplo, mediante pasaportes y trazabilidad).
Riesgos medioambientales	Reduce la demanda general de baterías nuevas, lo que alivia la presión sobre las actividades de extracción, procesamiento y de fabricación (los procesos más perjudiciales para el medioambiente en la cadena de valor).	Reduce las emisiones de la producción y la huella de suelo y energía asociadas a la fabricación de nuevos paquetes de baterías, gracias a que se necesitan menos recambios y a que las baterías se mantienen en mejor estado.	Evita la producción de baterías adicionales y las emisiones asociadas, al utilizar la capacidad restante en aplicaciones de segunda vida, lo que en última instancia reduce los volúmenes totales que probablemente se convertirían en residuos.	Desplaza parte de la demanda minera primaria por materia prima secundaria, reduciendo la extracción acumulada y permitiendo estándares medioambientales más estrictos en instalaciones gestionadas. Reintroduce materiales en el ciclo de producción en lugar de perderlos en vertederos, usos de menor calidad o fugas.	Incorpora normas ambientales, informes e incentivos en las regulaciones, lo que alienta a los actores de la cadena de valor a adoptar prácticas de menor impacto y más limpias para la producción y el reciclaje.
Riesgos sociales	Reduce la demanda general de nuevos minerales y la necesidad de nuevas fronteras de extracción, lo que limita los riesgos asociados para las comunidades y los trabajadores.	Reduce la presión para abrir o ampliar minas en zonas de alto riesgo, aliviando así las cargas sociales y de derechos humanos en el margen.	Desplaza parte de la creación de valor de la extracción primaria hacia actividades de servicios al final de la cadena, que pueden estar sujetas a una regulación más estricta.	Crea una base de suministro secundario más regulada que, si se gestiona adecuadamente, sustituye algunas fuentes primarias de alto riesgo (ej., la minería artesanal y de pequeña escala en regiones sensibles).	Hace visible el desempeño social a lo largo de toda la cadena (diligencia debida; pasaportes; consentimiento libre, previo e informado; normas laborales) y vincula el acceso a los mercados y a la financiación con las mejores prácticas.

Ciclos circulares »	Uso intensivo y acceso	Extensión de la vida útil (reparación, reacondicionamiento y remanufacturación)	Uso en cascada en aplicaciones de segunda vida	Reciclaje de alta calidad y recirculación de materiales	Intercambio de información
Ineficiencia de productos y sistemas	Aborda de frente la infrautilización mediante el redimensionamiento de las baterías, el fomento del uso compartido y la habilitación de las baterías de vehículos eléctricos (EVB) para que presten tanto servicios de movilidad como de energía (ej., V2G).	Mejora el rendimiento y la confiabilidad en el mundo real mediante un mejor mantenimiento y reparaciones oportunas, lo que reduce los periodos de inactividad y el bajo rendimiento.	Aprovecha la capacidad “inutilizada” de las baterías de EV retiradas para nuevas aplicaciones, convirtiendo lo que sería capacidad ociosa o desperdiciada en servicios útiles.	Fomenta una selección de materiales más deliberada y diseños modulares que eviten la dependencia de soluciones ineficientes, gracias a la retroalimentación sobre el diseño y la planificación del sistema (cuando se espera y se valora un reciclaje de alta calidad).	Sirve de base para el diseño de productos, los modelos de negocio y la regulación, mediante el uso de datos sobre la utilización, el rendimiento y el deterioro, lo que desalienta el sobredimensionamiento y los activos inactivos, y recompensa el uso eficiente.
Cuellos de botella e interrupciones en la cadena de suministro	Reduce la exposición a la volatilidad de los mercados de materias primas primarias al disminuir el crecimiento de la demanda de nuevos minerales mediante un uso más intensivo y eficiente de la capacidad existente.	Disminuye la necesidad de ampliar constantemente el suministro primario, aliviando la presión en mercados ajustados que, de otro modo, podrían traducirse en fuertes fluctuaciones de precios.	Añade flexibilidad al sistema al proporcionar un “amortiguador” adicional de capacidad utilizable que se puede desplegar en respuesta a perturbaciones sin tener que aumentar inmediatamente la producción.	Crea una base de recursos secundarios geográficamente más distribuida que puede amortiguar las fluctuaciones bruscas de los precios y reducir la dependencia de un pequeño grupo de proveedores y regiones primarios.	Apoya la diversificación y la resiliencia a través de datos transparentes, contratos estables a largo plazo y marcos normativos que fomenten la entrada de nuevos participantes, la infraestructura compartida y una captura de valor más equilibrada entre las regiones.

LOS TRES ÁMBITOS DE ACCIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR PARA LAS BATERÍAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Para pasar de la visión a la implementación, estos ciclos se traducen en tres ámbitos de acción distintos, pero interdependientes. Estos dos conceptos pueden explicarse de la siguiente manera:

- **Los ciclos** describen lo que ocurre con las baterías y los minerales a lo largo del tiempo: las formas en que se utilizan durante más tiempo, se emplean de manera más intensiva, se incorporan a nuevas aplicaciones o, finalmente, se reciclan.
- **Los ámbitos** describen dónde se toman las decisiones que permiten o impiden esos ciclos: en el diseño de **productos y componentes, en los modelos de negocio** y las estructuras de propiedad, y en los **sistemas** más amplios de políticas, infraestructura y finanzas.

Por lo tanto, una intervención o mecanismo de economía circular puede entenderse como la activación de uno o más ciclos, y en uno o más ámbitos de acción. Este enfoque ayuda a aclarar (i) cómo se complementan entre sí las diferentes intervenciones, y (ii) cómo abordan los retos de ampliación al revelar dónde surgen los factores limitantes en las decisiones que dan forma a los productos, los mercados y los sistemas.



01 **Ámbito de productos y componentes**

en el que se establece el potencial técnico de la economía circular

Este ámbito se centra en cómo se diseñan, dimensionan, ensamblan y especifican las baterías, los vehículos y los componentes, incluyendo las opciones químicas, la arquitectura de los paquetes, las soluciones de unión y fijación, y los sistemas de diagnóstico integrados.

Las decisiones de diseño determinan:

- **La eficacia con la que se pueden llevar a cabo los ciclos internos (mantenimiento, reparación)**, por ejemplo, mediante diseños de paquetes modulares, adhesivos desprendibles y formatos estandarizados.
- **La facilidad con la que las baterías pueden reutilizarse o incorporarse en aplicaciones de segunda vida**, como el almacenamiento estacionario.
- **Con qué eficiencia se pueden recuperar los materiales al final de su vida útil, y a qué costo**, mediante un diseño que facilite el desmontaje y un reciclaje de alta calidad?
- **Cuánta demanda de minerales críticos se genera, en primer lugar**, a través del redimensionamiento de las baterías, las mejoras en la densidad energética y la sustitución de materiales.

En otras palabras, el diseño de productos y componentes es lo que marca el límite técnico de la economía circular: determina qué ciclos son viables, qué valor pueden alcanzar y qué beneficios económicos y medioambientales reportan.

02 **Ámbito de los modelos de negocio**

en el que se crea y se captura el valor de la economía circular a lo largo del tiempo

Este ámbito de acción trata sobre cómo se incentiva, genera, comparte y mitiga el riesgo del valor a lo largo del ciclo de vida de las baterías, por ejemplo, a través de modelos de **Producto como Servicio (Paas)**, **Batería como Servicio (Baas)** y **Material como Servicio (MaaS)**, **mercados de segunda vida**, **logística basada en servicios y logística inversa**, u **optimización de flotas basada en datos**.

Los modelos de negocio dan forma a:

- **Estructuras de propiedad e incentivos**: quién es el propietario de la batería o de los materiales incorporados en cada etapa, a quién se le recompensa por diseñar la longevidad y la recuperación, y quién es responsable del fin de la vida útil.
- **Activación de los ciclos en la práctica**: los modelos de servicio/ arrendamiento y los basados en el rendimiento (por ejemplo, BaaS, MaaS y ofertas estructuradas de segunda vida) permiten una alta utilización, un mantenimiento y una actualización planificados, además de flujos de retorno predecibles para la reparación, la refabricación, la reutilización y el reciclaje.
- **Distribución de riesgos y beneficios** a lo largo de la cadena de valor, especialmente entre los países productores de minerales, los fabricantes de baterías, los fabricantes de equipos originales de vehículos y los operadores.

Por lo tanto, los modelos de negocio son el ámbito en el que los ciclos circulares se convierten en propuestas tangibles en las que se puede invertir, en lugar de meras opciones técnicas: son los que determinan si la economía circular es lo suficientemente rentable, para un número suficiente de actores, como para poder ampliarse.

03 **Ámbito del sistema**

en el que se crean las condiciones propicias para la economía circular

Este ámbito de acción aborda cómo se configuran (o reconfiguran) fundamentalmente las infraestructuras, las políticas, la financiación y la colaboración a lo largo de la cadena de valor para acelerar y hacer posible la economía circular, incluyendo:

- **Sistemas de movilidad y energía**, por ejemplo, movilidad bajo demanda, V2G, infraestructura de intercambio integrada en la red.
- **Infraestructura circular regional** para la reparación, la refabricación y el reciclaje, así como la mano de obra, las competencias y capacidades, y las normas de seguridad y calidad necesarias para gestionar esta infraestructura a gran escala.
- **Normas para el transporte transfronterizo de baterías y materiales recuperados, y para la clasificación de residuos** frente a recursos secundarios.
- **Mecanismos de transparencia y trazabilidad**, como los pasaportes de baterías y las normas de desempeño ESG en la minería y el procesamiento.
- **Economía política, establecimiento de normas y elaboración de estándares.** Las decisiones sobre datos, presentación de informes y trazabilidad determinan quién puede participar, quién asume los costos y quién captura el valor a lo largo de la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos.

Las decisiones en este nivel determinan:

- **Si las soluciones circulares pueden ampliarse en la práctica**, por ejemplo, si las normas y la logística transfronterizas permiten que las baterías se trasladen a donde existe capacidad, o si las políticas y el financiamiento respaldan la infraestructura regional de reciclaje y reutilización.
- **Cómo se distribuyen los beneficios y las cargas de una economía circular de baterías de vehículos eléctricos entre las regiones**, especialmente entre los países productores de minerales y las economías emergentes.
- **En qué medida la economía circular puede reducir los riesgos sistémicos**, como los identificados anteriormente, el desequilibrio entre la oferta y la demanda, el daño ambiental, los problemas sociales, la ineficiencia de productos y sistemas, y los cuellos de botella e interrupciones.

Las acciones en el ámbito del sistema ayudan a evitar que las iniciativas circulares se queden en proyectos piloto aislados y transforman los ciclos y los modelos de negocio en una cadena de valor global coherente y resiliente para baterías de vehículos eléctricos.

Tabla 2 **Cómo funcionan los ciclos de la economía circular en los ámbitos de productos y componentes, modelos de negocio y sistema**

Cada ciclo requiere intervenciones coordinadas en el ámbito de productos y componentes, de modelos de negocio y del sistema, mientras que las deficiencias en cualquier ámbito pueden impedir que las vías circulares se amplíen

Ciclos circulares	Ámbitos de acción ➤	Productos y componentes	Modelos de negocio	Sistema
	Uso intensivo y acceso	• Baterías del tamaño adecuado para ciclos de trabajo reales • Carga bidireccional y gestión térmica robusta • Telemetría integrada (uso, degradación) para la optimización	• Movilidad compartida/bajo demanda y optimización de flotas • Acceso con flexibilidad de autonomía (suscripción, intercambio, arrendamiento) • Agregación V2G y contratos de reparto de ingresos	• Planificación multimodal y redes de recarga/intercambio • Normas de red/tarifas para V2G (interconexión, agregación) • Estándares de interoperabilidad (recarga, comunicación)
	Extensión de la vida útil (reparación, reacondicionamiento y remanufacturación)	• Arquitecturas modulares; sujetadores reversibles/desadhesión • Componentes accesibles; documentación de reparación; interfaces estándar • Datos de diagnóstico y del estado de salud; transparencia química (pasaporte)	• Contratos de servicio y garantías extendidas • Programas de devolución/cambio y actualización de componentes. • Mercados para módulos reparados/reacondicionados; asignación clara de responsabilidades	• Centros de reparación/remanufacturación y mano de obra capacitada • Derecho a la reparación: acceso a repuestos e información sobre reparaciones • Normas de seguridad y certificación; normas de transporte conformes
	Cascada hacia aplicaciones de segunda vida	• Diseño para un desmontaje y reutilización seguros • Clasificación estandarizada del estado de salud e interfaces (voltaje, comunicaciones) • Sistema de gestión de baterías (BMS) y características de seguridad preparados para la reutilización	• Servicios de almacenamiento de segunda vida (arrendamiento, pago por kWh) • Plataformas de agregación y emparejamiento para paquetes/módulos usados • Garantías y avales de rendimiento para activos de segunda vida	• Incentivos de la red y acceso al mercado para el almacenamiento distribuido • Normas de calificación, seguridad y garantía para la segunda vida • Simplificación de los trámites de permisos e interconexión; adopción del pasaporte
	Reciclaje de alta calidad y recirculación de materiales	• Etiquetado claro de materiales y compuestos químicos; diseño para el desmontaje automatizado • Opciones de unión que permitan una separación y clasificación de alto rendimiento • Elección de composiciones químicas y materiales que favorezcan una recuperación de alta calidad	• Recuperación y recolección integradas en los contratos de venta/servicio • Acuerdos a largo plazo de materia prima y compra (aprovisionamiento de circuito cerrado) • Precios y contratos que premian el rendimiento, la calidad y la trazabilidad	• Capacidad regional de recolección, pretratamiento y reciclaje • Requisitos de contenido reciclado y normas de calidad de los materiales • Definiciones alineadas de fin de vida útil/fin de residuos y normas de movimiento conformes
	Intercambio de información	• Identificador único de la batería y pasaporte digital del producto • Conjunto de datos comunes: composición química, procedencia, historial de uso, estado de salud • Ciberseguridad y diseño de acceso controlado	• Acuerdos de intercambio de datos e intermediarios de confianza • Contratación de responsabilidades, valor residual y obligaciones • Servicios de aseguramiento/auditoría para reclamaciones (ej., sobre contenido reciclado, divulgación de ESG)	• Normas interoperables y gobernanza para el acceso/consentimiento • Definiciones y normas coherentes (fin de la vida útil, residuos/fin de la condición de residuo) • Señales de política que eliminen el riesgo de la inversión y disminuyan la fricción

El valor generado por la transición hacia una economía circular para las baterías de vehículos eléctricos debe distribuirse de manera equitativa entre las regiones y a lo largo de la cadena de valor

La cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos, altamente centralizada y frágil, genera incertidumbre económica para todos los países, ya que ninguno es autosuficiente y todos están expuestos a interrupciones en la cadena de suministro.⁴¹ Al mismo tiempo, no será factible a corto plazo construir cadenas de valor totalmente independientes y de extremo a extremo, ya que la distribución geológica de los recursos es desigual. Además, en el caso de las regiones ricas en recursos, ascender en la cadena de valor requiere acceso a capital, tecnología y competencias, factores que dependen en gran medida de la cooperación internacional.⁴² Por lo tanto, una mayor colaboración es esencial tanto para distribuir el valor de manera más equitativa entre las regiones como para reducir los riesgos sistémicos. Pasar de gestionar la escasez y los riesgos a promover sistemas colaborativos puede mejorar la resiliencia y la innovación en toda la cadena de valor de las baterías para vehículos eléctricos.⁴³

Para lograr este cambio, es necesario replantearse la forma en que se estructura la cooperación, a fin de garantizar que no se repitan las prácticas extractivas lineales. A medida que avanza la economía circular de las baterías para vehículos eléctricos, seguirá siendo necesaria una mayor actividad minera de manera transitoria para respaldar una transición exitosa hacia los vehículos eléctricos. En este sentido, la cooperación internacional debe garantizar que esto se haga de manera responsable, haciendo hincapié en la transparencia, la gestión ambiental, la responsabilidad social y la gobernanza ética a lo largo de todo el ciclo de vida de la minería.^{44,45} Sin embargo, estas prácticas siguen estando lejos de ser la norma en el sector.⁴⁶ Aunque las normas e iniciativas voluntarias han contribuido a impulsar las prácticas mineras responsables,⁴⁷ deben complementarse con una regulación vinculante para garantizar que estas expectativas se cumplan de manera sistemática.

La cooperación internacional también debe permitir que los países en desarrollo —donde se encuentra la mayor parte de estos recursos— no se limiten a exportar materias primas de bajo valor. Por el contrario, deben poder participar plenamente en el desarrollo de una cadena de suministro circular para las baterías de vehículos eléctricos, añadiendo valor a sus exportaciones mediante el procesamiento de materiales y el desarrollo de tecnologías de fin de vida útil en reciclaje, reutilización y reparación.⁴⁸ Esto puede lograrse mediante acuerdos de transferencia de tecnología, inversión extranjera directa, acuerdos comerciales más justos y apoyo al desarrollo de capacidades.

Por último, las iniciativas de cooperación internacional deben reconocer explícitamente e involucrar al sector informal, que desempeña un papel significativo tanto al principio de la cadena de la minería artesanal y a pequeña escala como al final de la cadena, en actividades como la recolección, el desmantelamiento y el reciclaje.^{49,50} En muchos países en desarrollo, los actores del sector informal proporcionan medios de subsistencia a millones de personas y aportan una parte sustancial de minerales críticos y materiales secundarios, pero a menudo operan al margen de los marcos normativos, enfrentándose a condiciones de trabajo inseguras, daños ambientales y precariedad económica.⁵¹ Por lo tanto, una transición justa hacia sistemas colaborativos de economía circular requiere políticas que apoyen la formalización gradual, la mejora de las condiciones laborales, el acceso a la financiación y la tecnología, y la integración en cadenas de suministro responsables⁵² posiblemente a través de modelos organizativos cooperativos, alianzas público-privadas y modelos de reciclaje inclusivos.⁵³ Esto puede mejorar la resiliencia de las cadenas de valor de las baterías de vehículos eléctricos y garantizar que su expansión genere un valor distribuido de manera más equitativa entre los actores regionales.



03

**CINCO
ÁREAS DE
OPORTUNIDAD
PARA IMPULSAR
EL LIDERAZGO
EN BATERÍAS
CIRCULARES
PARA
VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS**

Cada vez se reconoce más que los enfoques aislados de la circularidad constituyen una limitación en la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos.

A medida que las baterías de vehículos eléctricos crecen rápidamente, hay distintas formas de responder. Una consiste en considerar la circularidad como un conjunto de soluciones para el final de la vida útil: necesarias, pero en última instancia reactivas. Otra es reconocer un cambio más profundo: un marco de economía circular puede funcionar como una llave maestra para la era de las baterías, porque cambia el objetivo para el que se optimiza el sistema (de rendimiento a utilización, de productos de un solo uso a activos gestionados, de intervenciones aisladas a ciclos de refuerzo). Si se utiliza bien, no abre una sola puerta, sino muchas: decisiones de diseño, modelos comerciales, logística inversa, arquitecturas de datos, casos de inversión y armonización de políticas.

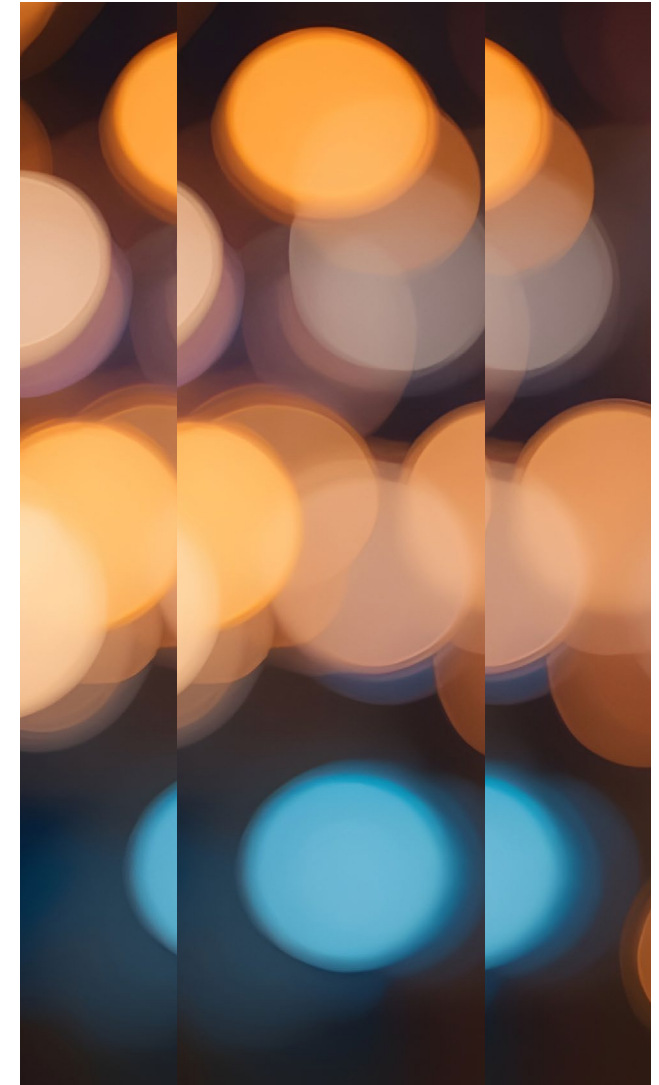
Cinco puntos clave para la acción estratégica en materia de economía circular ofrecen oportunidades para la acción inmediata en toda la cadena de valor.

Estas áreas de oportunidad se desarrollaron a partir de una participación estructurada de la industria, con más de 30 organizaciones a lo largo de la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos. Señalan oportunidades clave en las que una acción coordinada entre la industria, los inversionistas y los formuladores de políticas podría acelerar el progreso y la implementación efectiva de ciclos circulares en los distintos ámbitos. Estas áreas no constituyen una lista exhaustiva de todas las medidas necesarias para hacer realidad la visión descrita en el capítulo 2, sino que destacan las oportunidades inmediatas y de gran impacto que pueden impulsar un cambio significativo hacia una economía circular para las baterías de los vehículos eléctricos, al tiempo que se abordan los riesgos sistémicos existentes. Para obtener

una visión general completa de cómo los diferentes actores de la cadena de valor pueden aprovechar las oportunidades que ofrece la economía circular, ver el apéndice.

Las siguientes oportunidades no solo muestran lo que debe suceder con las baterías y los minerales, sino también dónde deben cambiar las decisiones dentro y a través del sistema: en los estudios de diseño y los equipos de ingeniería, en las salas de juntas y las negociaciones contractuales, así como en las políticas, la infraestructura y la cooperación internacional. También ponen de relieve quiénes deben actuar para aprovechar los beneficios de la economía circular de las baterías de vehículos eléctricos y garantizar que se convierta en la norma y no en la excepción.

Sin embargo, la aparición de los primeros indicios positivos no significa que hayamos llegado a la respuesta definitiva, ni que el trabajo que queda por hacer sea meramente incremental. El sistema de baterías es complejo, y los resultados que preocupan a los líderes (como el costo, la resiliencia, las emisiones y el abastecimiento) se definen al inicio de la cadena y a través de múltiples interfaces: dónde se sitúan los incentivos, cómo se comparte el valor y qué información e infraestructura hacen que el ciclo sea viable desde el punto de vista financiero. Este informe no ofrece una conclusión definitiva, sino un **marco analítico replicable y un conjunto inicial de puntos clave** que sirvan de punto de partida para la colaboración entre cadenas de valor y sectores: un lenguaje común para iniciar conversaciones hoy, y una base práctica sobre la que se puedan construir análisis más profundos, proyectos piloto y colaboración industrial en el futuro.



DISEÑAR BATERÍAS PARA QUE SEAN CIRCULARES, NO PARA QUE SE DESECHEN.

¿Qué beneficios ofrece esta oportunidad?

Rediseñar las baterías de los vehículos eléctricos para facilitar su diagnóstico, desmontaje, modularidad y trazabilidad hace que sea técnica y económicamente viable gestionar a gran escala los ciclos de reparación, reacondicionamiento, reutilización y reciclaje de alta calidad. Se trata de un factor fundamental para una economía circular de las baterías de vehículos eléctricos, que transforma las baterías de un diseño de un solo uso en componentes duraderos de un sistema más amplio de movilidad y energía, fabricados expresamente para durar, desmontarse y reutilizarse a lo largo de múltiples ciclos de vida y aplicaciones. Reduce el costo de vida útil al evitar reemplazos prematuros, lo que permite una reparación y reutilización más efectivas de los productos y materiales (por ejemplo, al hacer posible que los proveedores de servicios de estos circuitos reprocesen materiales de forma práctica y eficiente), además de mantener durante más tiempo un mayor valor residual en los paquetes y módulos. Asimismo, refuerza la resiliencia al facilitar la reparación, la refabricación y la recuperación de materiales a nivel regional, lo que reduce la exposición a las crisis de suministro de materias primas. Al prolongar la vida útil y mejorar los rendimientos de recuperación, el rediseño de la batería reduce las emisiones por kWh suministrado y fomenta el abastecimiento responsable gracias a una composición de materiales más clara y trazable, lo que facilita el cumplimiento normativo y mejora la transparencia.

¿Qué ciclos están habilitados?

- Extensión de la vida útil mediante la reparación, el reacondicionamiento y la refabricación
- Uso en cascada para aplicaciones de segunda vida
- Reciclaje de alta calidad y recirculación de materiales
- Intercambio de información



Cómo se puede aplicar en cada ámbito

Productos y componentes

- Introducir arquitecturas modulares de paquetes y módulos que permitan aislar y reemplazar las celdas o módulos defectuosos sin desechar paquetes completos.
- Sustituir las uniones permanentes y difíciles de separar por soluciones que permitan un desacoplamiento y desmontaje eficientes, lo que reduce el tiempo de reparación y permite alcanzar mayores tasas de recuperación en el reciclaje.
- Integrar sistemas de diagnóstico y trazabilidad (por ejemplo, mediante sensores integrados y pasaportes digitales de los productos) para que el estado, la composición química y el diseño de las baterías sean visibles para los reparadores, los integradores de segundas vidas y los recicladores, con el fin de facilitar una mayor reutilización y aumentar la eficiencia.

Modelos de negocio

- Habilitar modelos de servicio basados en la reparación y la actualización (en lugar de la sustitución prematura), mejorando el costo total de propiedad y prolongando los ingresos generados por cada paquete.
- Reducir el costo y la complejidad de la recuperación de paquetes y componentes para su reutilización y reciclaje, fortaleciendo el caso de negocio para BaaS y modelos similares que dependen de flujos inversos eficientes.

Sistema

- Reforzar los requisitos normativos relativos a la durabilidad mínima, la reparabilidad y la reciclabilidad, así como al uso de pasaportes digitales de los productos.
- Hacer que la infraestructura regional de reparación y reciclaje sea más accesible y eficiente, mejorando así la resiliencia y reduciendo el impacto ambiental por tonelada de material procesado.

Quién debe actuar

» Fabricantes de celdas y baterías:

Liderar el establecimiento de nuevos estándares de diseño alineados con los requisitos de la economía circular, incluyendo la modularidad de las celdas y los componentes de las baterías (como los sistemas de fijación estandarizados o interoperables para los paquetes); el uso de soluciones de desmontaje; y la adopción de sistemas de diagnóstico integrados. Colaborar con talleres de reparación, empresas de remanufactura y recicladoras para comprender cómo los diseños actuales limitan estos procesos, y establecer nuevos estándares apropiados que permitan que las nuevas baterías se integren en sus sistemas con mayor eficiencia y rentabilidad.

» Fabricantes de vehículos (OEM):

Incorporar criterios de diseño de baterías circulares en las decisiones sobre plataformas y en los requisitos para los proveedores. Diseñar vehículos que permitan la extracción y reinstalación de las baterías.

» Talleres de reparación, empresas de reacondicionamiento y recicladores:

Aportar comentarios sobre los obstáculos de diseño que dificultan la reparación, el reacondicionamiento y el reciclaje eficientes, y colaborar en la elaboración de directrices de diseño comunes con los actores situados en las fases iniciales de la cadena de valor.

» Organismos de normalización y formuladores de políticas:

Crear normas y regulaciones comunes en materia de durabilidad, reparabilidad, reciclabilidad y suministro de datos que respalden estos cambios de diseño y generen los incentivos económicos necesarios para fomentar su adopción.

» Finanzas y asignación de capital:

Alinear las decisiones de inversión con métricas de intensidad de materiales y de utilización para reducir la demanda de minerales críticos en movilidad y almacenamiento.

REPLANTEAR EL SERVICIO DE BATERÍAS DENTRO DE SISTEMAS OPTIMIZADOS DE ENERGÍA Y MOVILIDAD

¿Qué beneficios ofrece esta oportunidad?

El diseño de baterías para vehículos eléctricos “adaptadas a su finalidad”, es decir, a la utilidad o las funciones que deben cumplir (junto con la reconfiguración de los sistemas de movilidad y energía para satisfacer las necesidades de movilidad), reduce el exceso estructural de capacidad y sobreespecificación de la tecnología, lo que a su vez disminuye la demanda de minerales. Al mismo tiempo, se mantiene o mejora la calidad del servicio y la utilidad (por ejemplo, en el tonelaje de minerales críticos por pasajero-kilómetro). Esto implica replantearse el valor de las baterías, pasando de maximizar la capacidad en cada vehículo a ofrecer el rendimiento adecuado para el uso adecuado, con sistemas de movilidad diseñados para facilitar el acceso a los servicios en lugar de baterías cada vez más grandes.

El sistema de movilidad energética puede rediseñarse de tal manera que el acceso a “más” kilómetros-pasajero se consiga a través de servicios e infraestructura, en lugar de mediante baterías adicionales de mayor capacidad. Esto aleja al mercado de una preferencia de los consumidores por productos sobredimensionados y de “talla única”, y lo orienta hacia ofertas más específicas. En ocasiones, esto puede requerir creatividad en el diseño de productos, marcas y servicios: por ejemplo, logrando que una autonomía “suficiente” se perciba como algo de alta gama y sin complicaciones de forma predeterminada, y replanteando el rendimiento y la experiencia del usuario.

¿Qué ciclos están habilitados?

- Uso y acceso intensivos
- Extensión de la vida útil mediante reparación, reacondicionamiento y refabricación
- Intercambio de información



Cómo se puede aplicar en cada ámbito

Productos y componentes

- Adaptar el tamaño de las baterías a perfiles de uso realistas, en lugar de recurrir por defecto a paquetes grandes de largo alcance para cada aplicación. Innovar para que una “autonomía suficiente” se considere la opción predeterminada para el consumidor.
- Adaptar las composiciones químicas y los diseños de los paquetes según el caso de uso: por ejemplo, baterías de alto rendimiento para flotas de larga distancia y paquetes más pequeños y más eficientes en cuanto a materiales para vehículos urbanos.

Modelos de negocio

- Ampliar los servicios de movilidad compartida y bajo demanda (incluidos aquellos con mecanismos e intervenciones de modelación de la demanda) que aumentan la utilización de los vehículos y las baterías, haciendo que las baterías más pequeñas sean viables para muchos usuarios.
- Implantar el intercambio de baterías, los servicios de suscripción u otros modelos de negocio que permitan acceder a vehículos con diferentes opciones de autonomía cuando sea necesario, de modo que los usuarios no tengan que depender de poseer ni de pagar por baterías de gran tamaño.

Sistema

- Invertir en infraestructura de recarga y cambio de baterías, especialmente en las ciudades, que permita una recarga frecuente y cómoda y reduzca la ansiedad por la autonomía.
- Integrar soluciones V2G y V2H para que las baterías ofrezcan tanto servicios de movilidad como de almacenamiento de energía, maximizando los kWh suministrados por unidad de minerales críticos.

Quién debe actuar

» Fabricantes de baterías y fabricantes de equipos originales:

Incorporar el tamaño adecuado en la planificación de productos y el diseño de vehículos. Adoptar modelos de negocio circulares, como la suscripción y el intercambio de baterías, para permitir un uso más rentable de los minerales de las baterías por kilómetro recorrido. Comunicarse de manera transparente con los usuarios finales sobre las necesidades de autonomía en el mundo real para ayudar a aliviar la ansiedad por la autonomía y respaldar la elección de baterías del tamaño adecuado.

» Ciudades y proveedores de movilidad:

Planificar e implementar servicios de movilidad compartida, redes de recarga y estrategias de transporte multimodal que apoyen el uso intensivo de vehículos de tamaño adecuado. Exigir a los operadores de puntos de recarga que mejoren la interoperabilidad entre las diferentes baterías e infraestructuras de recarga y que instalen cargadores bidireccionales. Dar a conocer las ventajas y facilitar la adopción de sistemas multimodales para fomentar que los usuarios finales adopten estas ofertas. Introducir tarifas variables (por ejemplo, tarifas de estacionamiento que varíen en función de la batería y el peso del vehículo) para incentivar a los usuarios a dar prioridad a los vehículos de tamaño adecuado.

» Proveedores de energía y operadores de redes:

Desarrollar marcos normativos y tarifas que permitan el desarrollo de V2G y servicios relacionados. Colaborar con los reguladores, los operadores de puntos de recarga y las autoridades municipales para anticipar las mejoras de la red y desarrollar una infraestructura de recarga que permita un uso eficiente y generalizado de las baterías de los vehículos eléctricos.

» Formuladores de políticas:

Alinear las políticas de planificación urbana, transporte y energía para facilitar la optimización del tamaño de las infraestructuras, la movilidad compartida y la integración en la red eléctrica, y hacer que estas opciones sean más viables desde el punto de vista económico. Revisar las normas de contratación pública en cada uno de estos sectores para generar señales de demanda.

» Proveedores de servicios de reparación, arrendamiento y alquiler de vehículos eléctricos:

Colaborar con otros actores del sistema para integrar de manera fluida actividades del “circuito interno”, como la reparación, en los sistemas de movilidad, con el fin de facilitar la adopción de soluciones de movilidad más optimizadas.

MODELOS DE NEGOCIO CIRCULARES A GRAN ESCALA

¿Qué beneficios ofrece esta oportunidad?

Los modelos de negocio circulares convierten las baterías de los vehículos eléctricos y sus materiales en activos a largo plazo, en lugar de productos que se venden una sola vez. Estos modelos premian la durabilidad, el rendimiento, la recuperación y el aprovechamiento en aplicaciones de segunda vida, a lo largo de múltiples ciclos de uso, lo que permite generar más valor a partir del mismo stock de baterías y minerales. Modelos como MaaS, BaaS, suscripciones de actualización y mantenimiento, garantías basadas en el rendimiento y ofertas estructuradas de segunda vida pueden alinear incentivos comerciales cruciales en torno a la durabilidad, el tiempo de actividad, la recuperación y el valor residual, en lugar de la sustitución prematura. Al mantener la propiedad en manos de un solo actor, estos modelos también pueden ayudar a monitorear el paradero de los productos y materiales, evitando que se pierdan.

¿Qué ciclos están habilitados?

- Uso intensivo y uso compartido
- Extensión de la vida útil mediante reparación, reacondicionamiento y refabricación
- Uso en cascada para aplicaciones de segunda vida
- Reciclaje de alta calidad y recirculación de materiales



Cómo se puede aplicar en cada ámbito

Productos y componentes

- Diseñar pensando en la durabilidad, la facilidad de reparación, la reutilización y la reciclabilidad, con el fin de permitir una retención del valor más eficaz al pasar a modelos de negocio que permitan a los proveedores conservar la propiedad de las baterías o los materiales incorporados.
- Establecer acuerdos contractuales que exijan transparencia en las decisiones de diseño y respalden las inversiones en capacidades adecuadas de reparación y reciclaje.

Modelos de negocio

- Modelos de “batería como servicio” que transfieren la propiedad de las baterías a operadores especializados que gestionan la recarga, el mantenimiento, las actualizaciones y el fin de la vida útil, a menudo utilizando paquetes estandarizados e intercambiables y un monitoreo centralizado.
- Modelos de “material como servicio” que permiten a las empresas mineras, de procesamiento y de reciclaje arrendar minerales críticos a los sectores del final de la cadena de valor, conservando la propiedad mientras estos circulan a lo largo de múltiples ciclos de vida de los productos.
- Modelos de negocio de segunda vida que generan nuevas fuentes de ingresos al reutilizar las baterías en sistemas de almacenamiento estacionarios y otras aplicaciones una vez que dejan de cumplir los requisitos de rendimiento para su uso en automóviles. Existe un potencial de demanda especialmente elevado para estas soluciones en el Sur Global, en zonas donde la infraestructura de la red eléctrica se encuentra en una fase más incipiente.

Sistema

- Utilizar modelos de negocio circulares basados en contratos para garantizar flujos predecibles y a largo plazo de materiales y productos, lo que facilitará la planificación de las infraestructuras regionales, las inversiones y el diseño de políticas.
- Garantizar que los modelos de negocio circulares a lo largo de toda la cadena de valor puedan redistribuir las oportunidades económicas, permitiendo que los países productores de minerales y otros actores que actualmente obtienen márgenes reducidos puedan obtener un mayor valor de los mismos recursos.
- Diseñar deliberadamente los negocios y los sistemas para garantizar un equilibrio óptimo entre los materiales y la eficiencia, y evitar consecuencias no deseadas al adoptar modelos de tipo BaaS o de intercambio de baterías. Por ejemplo, aunque los modelos de intercambio de baterías pueden aumentar la utilización y el valor a lo largo de la vida útil, también pueden impulsar la demanda debido al impacto de la reducción de los precios iniciales o al aumento de la comodidad, y podrían requerir un stock adicional de baterías de “reserva” en las redes de intercambio. Por lo tanto, el resultado neto en cuanto a minerales depende de las decisiones de diseño del sistema y del modelo de negocio, y no es un resultado dado basado en el modelo de servicio.

Quién debe actuar

» Empresas mineras y de procesamiento:

Poner a prueba y ampliar acuerdos de MaaS que mantengan los materiales en ciclos predecibles e incentiven la recuperación de alta calidad.

» Fabricantes de baterías y fabricantes de equipos originales:

Ampliar el BaaS y otras ofertas basadas en servicios, incluyendo sistemas basados en el intercambio y servicios integrados de movilidad y energía. Una vez que las baterías llegan al final de su vida útil en aplicaciones para vehículos eléctricos, crear ofertas para revender los productos con fines de aplicaciones secundarias, por ejemplo, en sistemas de almacenamiento de energía. Invertir en la capacitación y formación de la fuerza laboral para poder ofrecer nuevos modelos de negocio basados en servicios allí donde se adopten.

» Recicladores:

Experimentar con modelos de negocio centrados en la “gestión responsable de los materiales”, ya sea de forma independiente o en colaboración con otros actores de la cadena de valor, para aprovechar más oportunidades de generación de valor e ir más allá de los simples modelos de punto único de venta de materiales reciclados.

» Empresas energéticas y de servicios públicos:

Colaborar con fabricantes de equipos originales, actores de la cadena de suministro, gestores de activos e inversores en aplicaciones de segunda vida e integrarlas en la planificación de la red eléctrica.

» Instituciones financieras y aseguradoras:

Diseñar instrumentos que reconozcan el valor de los activos de las baterías y los materiales a lo largo de múltiples ciclos de vida.

» Formuladores de políticas:

Fomentar la colaboración transfronteriza y trabajar para alinear las normas relativas a la clasificación y el transporte de las baterías al final de su vida útil, con el fin de facilitar la creación de un mercado eficaz para su reutilización.

CONSTRUIR E INVERTIR CONJUNTAMENTE EN INFRAESTRUCTURA CIRCULAR REGIONAL

¿Qué beneficios ofrece esta oportunidad?

Reimaginar la cadena de valor de las baterías como una red diseñada intencionalmente de infraestructura regional e interregional que permita que los materiales circulen de manera eficiente, resiliente y transparente. Al ampliar la capacidad regional de logística inversa y procesamiento (y hacerlo a través de inversiones colaborativas), puede garantizar que las baterías y los minerales críticos circulen de manera eficiente, resiliente y transparente, al tiempo que se diversifican las oportunidades económicas entre las regiones. El desarrollo de la capacidad regional puede ser importante para garantizar la puntualidad, mejorar la financiabilidad y la coherencia de las políticas. En algunos casos, al acortar las distancias de transporte y mejorar la eficiencia del procesamiento, puede reducirse el nivel de emisiones por tonelada manejada. Sin embargo, la escala interregional puede resultar más atractiva para actividades que requieren una gran especialización y una elevada inversión en activos fijos. La infraestructura circular es compleja, y es importante reunir a los actores de toda la cadena de valor para crear una base empírica y establecer criterios de decisión compartidos sobre lo que debe hacerse a nivel local, regional e internacional.

¿Qué ciclos están habilitados?

- Extensión de la vida útil mediante la reparación, el reacondicionamiento y la refabricación
- Uso en cascada para aplicaciones de segunda vida
- Reciclaje de alta calidad (a través de centros de procesamiento regionales)
- Intercambio de información



Cómo se puede aplicar en cada ámbito

Productos y componentes

- Desarrollar instalaciones regionales de diagnóstico, reparación, reacondicionamiento y reutilización para que resulte viable mantener los productos y componentes en circulación más cerca de donde se utilizan. Esto es de especial importancia si se tiene en cuenta que las aplicaciones de segunda vida de las baterías, en cadena, pueden darse en zonas geográficas muy distintas de aquellas en las que se desarrolla su primera vida útil; permitir la recolección y la recirculación de los materiales en las regiones donde estos llegan prácticamente al final de su vida útil hace que su circulación sea más rentable y evita posibles fugas fuera del sistema.
- Adaptar las instalaciones de reciclaje, ya sean compartidas o conectadas en red, a las composiciones químicas y los diseños más habituales en la región.

Modelos de negocio

- Agrupar las inversiones en infraestructura para reducir los riesgos y los costos para los actores individuales y puede estructurarse en torno a contratos que garantizan el suministro de materia prima (para las empresas de reciclaje) y de productos (para los fabricantes y los fabricantes de equipos originales).
- Introducir nuevas ofertas de servicios en torno al transporte, la recolección, el diagnóstico y el procesamiento de baterías al final de su primera vida útil y más allá.

Sistema

- Establecer centros regionales estratégicamente ubicados para la recolección, reparación, integración de segunda vida y reciclaje a fin de reducir la dependencia de un pequeño número de centros de procesamiento globales, aumentando la resiliencia ante crisis y perturbaciones comerciales.
- Desarrollar conjuntamente y poner a disposición la infraestructura necesaria, en colaboración con los países productores de minerales, para apoyar el avance de estas regiones en la cadena de valor hacia actividades de procesamiento, remanufactura y reciclaje.

Quién debe actuar

» Materias primas y suministro al principio de la cadena:

Coinvertir en logística inversa e infraestructura de reciclaje para permitir la prueba y el escalamiento de medidas de mitigación como MaaS.

» Fabricantes de baterías, fabricantes de equipos originales y recicladores:

Realizar inversiones conjuntas en instalaciones regionales y redes logísticas, compartiendo riesgos y conocimientos especializados. Desarrollar centros regionales en las ubicaciones adecuadas, capaces de gestionar los volúmenes necesarios para todas las etapas del proceso de recirculación, con el fin de que las actividades sean económicamente viables; desde la recolección hasta la clasificación, pasando por el reciclaje y el reprocesamiento de minerales. En primer lugar, colaborar con otros actores de la cadena de valor que utilicen composiciones químicas similares en las baterías para lograr una mayor eficiencia en el reciclaje. Considerar la posibilidad de formar alianzas de compradores para garantizar la demanda de minerales críticos circulares. Involucrar a las empresas mineras y de procesamiento para aprender de su experiencia en el manejo de materiales y desarrollar la capacidad regional para el reprocesamiento de materiales.

» Proveedores de servicios logísticos:

Desarrollar servicios especializados y que cumplan con las normas para el transporte de baterías usadas y al final de su vida útil dentro de las regiones y entre ellas.

» Gobiernos e instituciones financieras de desarrollo:

Establecer marcos normativos propicios, instrumentos de reducción de riesgos y financiación pública para impulsar la inversión privada, especialmente en las economías emergentes y en desarrollo, con el fin de construir infraestructuras regionales de recolección, clasificación, reciclaje y procesamiento. Apoyar el desarrollo de marcos de transparencia y trazabilidad que puedan aportar certeza sobre los flujos de materiales previstos, a fin de reducir los riesgos de la inversión en las regiones y en los volúmenes que serán necesarios (ver más información al respecto en el capítulo 3.5).

» Formuladores de políticas:

Alinear las normas y los incentivos normativos para que las baterías puedan enviarse a las instalaciones adecuadas con el fin de lograr un resultado circular óptimo (ya sea para su reparación, reutilización o reciclaje), al tiempo que se evitan las fugas y se fomenta el desarrollo y la inversión en la capacidad local o regional cuando ello aporte valor agregado. Facilitar el diálogo sobre las inversiones y las capacidades interregionales frente a las intrarregionales mediante la creación de foros para identificar las prioridades regionales, la organización de foros basados en evidencias para identificar cuellos de botella y carencias de capacidad, y debatir en qué casos es más esencial contar con una capacidad regional distribuida y en cuáles los centros especializados ofrecen los resultados más eficientes.

» Finanzas y asignación de capital:

Implementar instrumentos de financiación combinada y de reparto de riesgos para atraer inversión privada y pública hacia la infraestructura de recolección, diagnóstico, remanufactura y reciclaje de alta calidad.

» Proveedores de educación y formación:

Asociarse con empresas y gobiernos para desarrollar programas de capacitación, investigación y desarrollo para empleos relacionados con la economía circular en la cadena de valor de las baterías de vehículos eléctricos.

HACER QUE EL SISTEMA OPERATIVO CIRCULAR FUNCIONE

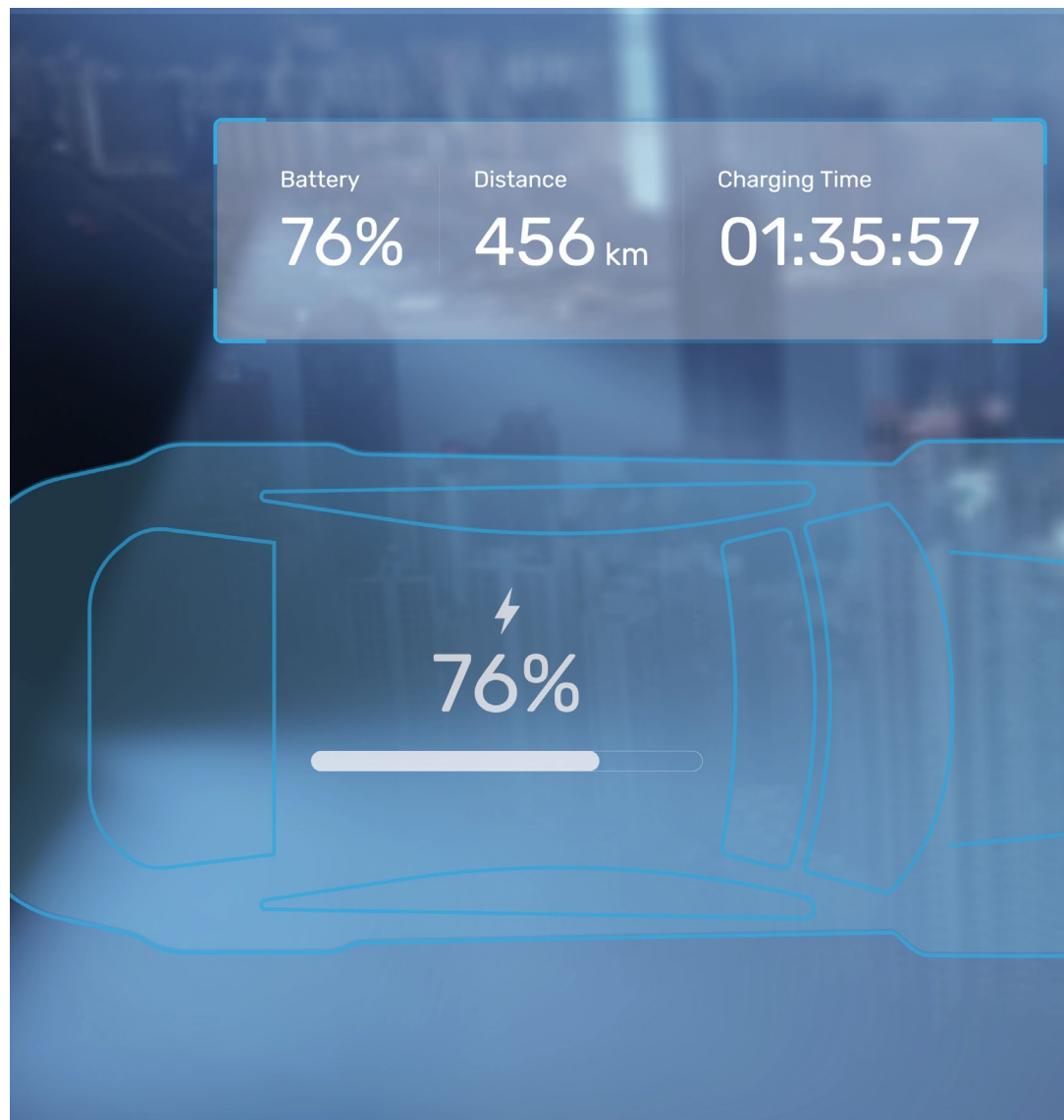
¿Qué beneficios ofrece esta oportunidad?

Los datos y las políticas constituyen el sistema operativo de una economía circular de baterías para vehículos eléctricos. Alinear los datos, las definiciones y las normas a nivel transfronterizo es esencial para atraer inversiones y lograr que todos los demás ciclos funcionen en la práctica. Sin una política coherente y sin visibilidad sobre los datos de los productos, los componentes y los materiales, las baterías se convierten en “activos ocultos”: difíciles de localizar, clasificar y hacer circular técnicamente en los distintos ciclos. Los actores de la cadena de valor carecen de acceso a la información crucial necesaria para poder recircular las baterías de manera práctica (por ejemplo, información sobre cómo reparar una batería de forma técnica y segura), y el transporte para su reparación, reutilización o reciclaje sigue siendo costoso y arriesgado.

Al generar la transparencia y la trazabilidad necesarias en los flujos actualmente ocultos de la economía de las baterías de vehículos eléctricos, se reducen los costos de transacción, se permite que los mercados de productos y minerales secundarios funcionen a gran escala, y las empresas y los inversionistas adquieren la confianza necesaria para financiar infraestructuras y nuevos modelos de negocio. La mayor transparencia en el desempeño ambiental y social también refuerza el abastecimiento responsable y fomenta la confianza de los clientes. Hacer que el sistema operativo circular funcione de esta manera también fortalece la resiliencia e impulsa el éxito comercial al mejorar la planificación de los flujos de materiales futuros y reducir los activos “varados” causados por la incertidumbre regulatoria.

¿Qué ciclos están habilitados?

- Intercambio de información
- Todos los demás ciclos



Cómo se puede aplicar en cada ámbito

Productos y componentes

- Utilizar pasaportes digitales de productos y herramientas relacionadas para registrar el diseño, la composición química, el historial de uso y el estado de las baterías. Poner esta información a disposición de todos los actores pertinentes cuando sea necesario, a fin de facilitar la toma de decisiones eficaces sobre la reparación, la segunda vida útil y el reciclaje.

Modelos de negocio

- Recopilar datos confiables sobre la ubicación, el estado y la disponibilidad de las baterías para respaldar los mercados de BaaS, MaaS y de segunda vida, y permitir a los actores planificar modelos de negocio en torno a los flujos previstos de baterías usadas.

Sistema

- Armonizar las definiciones de “residuo”, “fin de vida útil” y “fin de la condición de residuo”, junto con normas coherentes para el transporte de baterías y materiales recuperados, con el fin de reducir las fricciones y la incertidumbre en las fronteras y facilitar la circulación interregional allí donde sea necesario alcanzar una mayor escala.
- Proporcionar señales políticas claras y coherentes para infundir confianza a los inversores a la hora de construir infraestructuras circulares y poner a prueba nuevos modelos de negocio a gran escala.
- Aumentar la confianza del mercado demostrando que existen mecanismos fiables de gobernanza y garantía (auditoría, certificación e integridad de los datos).

Quién debe actuar

» Formuladores de políticas y reguladores:

Trabajar para lograr normas transfronterizas alineadas en materia de clasificación, transporte y tratamiento de productos al final de su vida útil. Imponer y apoyar el pasaporte digital de productos y el intercambio de datos a lo largo de toda la cadena de valor. Por ejemplo, en el caso de la clasificación de la masa negra y los códigos de residuos, las definiciones normativas no solo están descoordinadas, sino que pueden aumentar de manera demostrable los costos de transacción y las cargas administrativas, lo que socava la viabilidad económica del reciclaje.

» Coaliciones industriales y organismos de normalización:

Definir los requisitos comunes de datos, los modelos de gobernanza y los mecanismos de garantía para los pasaportes de baterías y las herramientas de trazabilidad. Trabajar para garantizar que se adopten a nivel mundial y entre todos los proveedores de pasaportes de baterías, con el fin de minimizar la fragmentación y las divergencias.

» Empresas de toda la cadena de valor:

Compartir datos relevantes (dentro de los marcos de gobernanza acordados) a lo largo de toda la cadena de valor para facilitar el ciclo eficiente de las baterías (por ejemplo, mediante la reparación, la refabricación y el reciclaje). Participar en proyectos piloto que recopilen información para orientar la planificación de infraestructuras y el diseño de políticas.

04

**ANÁLISIS EN
PROFUNDIDAD
Y ESTUDIOS DE
CASO EN LOS
TRES ÁMBITOS
DE ACCIÓN**

Las baterías de los vehículos eléctricos constituyen el núcleo de la transición hacia la electrificación, ya que plantean algunos de los retos más complejos en materia de recursos, costos y sostenibilidad. Una verdadera economía circular de las baterías no consiste en un simple cambio de tecnología ni en una solución para el final de su vida útil. Se trata de una disciplina que abarca todo el ciclo de vida: mantener las baterías en funcionamiento el mayor tiempo posible, recuperar su valor mediante la reparación y la reutilización, y reincorporar los materiales a la producción de nuevos productos con un alto nivel de calidad.

Este capítulo adopta un enfoque práctico, centrado en “cómo funciona en la vida real”, para ofrecer una visión general de las prácticas que ya están relativamente consolidadas frente a las que se encuentran en fase incipiente. Examina cómo se refuerzan mutuamente tres ámbitos de acción. En consonancia con el marco de la economía circular presentado en el capítulo 2, comienza por el **producto**, ya que el diseño establece las limitaciones; luego pasa a **los modelos de negocio**, porque los incentivos determinan lo que se lleva a cabo; y, por último, amplía la perspectiva **al sistema**, ya que las redes deciden qué es lo que se escala. En pocas palabras, los productos hacen posible la economía circular, los modelos de negocio la hacen rentable y los sistemas que se generalicen.

Para situar estas vías en el contexto operativo real, se incluyen breves estudios de caso sobre la separación de capas y la innovación en aglutinantes solubles (GRST y Bostik), la logística inversa y la facilitación de la reparación de baterías (DHL), las celdas de batería fabricadas con materiales recuperados (Altilium y JLR), y el intercambio estandarizado con integración a la red eléctrica (el ecosistema Choco-Swap de CATL). En conjunto, muestran cómo se ve la circularidad cuando el diseño, las operaciones y los incentivos comerciales se alinean.



El diseño de baterías de vehículos eléctricos para su desmontaje, modularidad y trazabilidad libera el potencial económico de los servicios de alto valor durante el uso y las vías de gestión posteriores al uso

Cada vez más los fabricantes diseñan baterías que integran características como la modularidad, la estandarización, la trazabilidad y el diagnóstico para mejorar la reparación, la reutilización y el reciclaje al final de su vida útil. Los sistemas de paquetes modulares, compuestos por grupos de celdas extraíbles con sensores de diagnóstico, permiten realizar reparaciones específicas, más rápidas y más económicas, evitando la sustitución completa del paquete y reduciendo el tiempo de inactividad. El diseño para el diagnóstico (DfD) no solo reduce los costos de mantenimiento y los residuos, sino que también mejora la eficiencia en la recuperación de materiales, lo que en última instancia reduce el uso de materiales y el impacto ambiental. En comparación con los diseños tradicionales de baterías, se ha demostrado que, en algunos casos, los diseños modulares mejoran la reciclabilidad general entre un 15 % y un 20 %.⁵⁴

La estandarización de los componentes entre diferentes modelos y el uso de elementos de fijación mecánicos (pernos, tornillos) en lugar de uniones permanentes, lo que permite intervenciones automatizadas, son otras estrategias de diseño que pueden prolongar aún más la vida útil de las baterías. Cuando se combina con herramientas de trazabilidad, como el blockchain o los pasaportes digitales de productos, el diseño para la reutilización (DfD) fomenta la reutilización de las baterías en aplicaciones de segunda vida y la adopción de modelos de negocio circulares, como el intercambio o el alquiler de baterías, lo que abre nuevas fuentes de ingresos más allá de la venta inicial del vehículo. Aunque el DfD aún no es una práctica habitual en la industria de las baterías en la actualidad, los avances tecnológicos y los requisitos normativos destinados a establecer una economía circular facilitarán en gran medida su adopción.

Beneficios:

- Se ha demostrado que los diseños modulares de baterías, en comparación con los diseños tradicionales, mejoran la reciclabilidad general en un 15-20 %.
- Aunque la inversión inicial en el diseño para el desmontaje puede ser mayor, genera numerosos beneficios económicos, tales como: reducción de los costos de mano de obra, mejora en la recuperación de materiales, extensión de la vida útil del producto mediante la reparación y la actualización, y cumplimiento normativo.
- El uso de características de diseño específicas (número de módulos y elementos de fijación, complejidad del diseño y accesibilidad) puede reducir significativamente los costos de procesamiento al final de la vida útil hasta en un 75 % por paquete, dependiendo del diseño.⁵⁵

Estudio de caso:

Soluciones de desadhesión de GRST y Bostik

Las tecnologías emergentes están transformando las baterías de los vehículos eléctricos y mejorando su reciclabilidad al simplificar el desmontaje mediante soluciones de desadhesión.

GRST (Green, Renewable and Sustainable Technology) es una empresa dedicada a la tecnología de baterías de iones de litio que se especializa en aglutinantes, una especie de “pegamento” de alta tecnología que se utiliza para fijar los materiales activos a los electrodos, y que emplea materiales solubles en agua y libres de PFAS, diseñados para facilitar su reparación y reciclaje. El aglutinante se integra fácilmente en los procesos de fabricación de baterías existentes y funciona con todas las principales composiciones químicas sin alterar el rendimiento ni el costo. En la fase de reciclaje, los aglutinantes de GRST pueden disolverse en agua reciclable, evitando los procesos de calentamiento, químicos o de trituration mecánica que requieren los aglutinantes convencionales. Como resultado, el GRST afirma que su tasa de recuperación de masa negra de alta pureza supera el 99,9 % y que reduce las emisiones de carbono hasta en un 90 %. Esto elimina la necesidad de que las empresas de reciclaje tengan que manipular materiales fluorados con PFAS. Además de recuperar los minerales para baterías, los aglutinantes de GRST pueden separarse de la masa negra mediante filtración y reciclarse para su uso en otras industrias. Al optimizar el desmontaje de las baterías, maximizar la recuperación de minerales y minimizar el impacto ambiental, la tecnología de GRST permite la implementación efectiva de un sistema de circuito cerrado para el ciclo de vida de las baterías.

Bostik, una empresa global de adhesivos perteneciente al Grupo Arkema, también desarrolla soluciones de unión y desadhesión diseñadas específicamente para baterías de vehículos eléctricos. Los materiales de interfaz térmica de la empresa, en especial los rellenos de huecos termoconductores, están diseñados para ser removibles y reposicionables. Se trata de materiales que no se endurecen y no contienen silicona, y que mantienen la misma viscosidad líquida a lo largo de toda su vida útil, lo que mejora la eficiencia durante el desmontaje, así como la reparabilidad y reciclabilidad. Asimismo, estos materiales podrían prolongar la vida útil de la batería gracias a una gestión térmica de alto rendimiento. Además, Bostik ha lanzado Prep DB, un innovador imprimador de desmontaje diseñado para la industria automotriz. Esta solución garantiza una fuerte unión estructural durante su uso, al tiempo que permite una separación limpia y activada por calor al final de su vida útil. Este enfoque simplifica los procesos de reparación y facilita la recuperación de materiales, lo que mejora la reciclabilidad y reduce los residuos.

Consulte los sitios web de [GRST](#) y [Bostik](#) para obtener más detalles.



Permitir la reparación de las baterías de los vehículos eléctricos ofrece una alta rentabilidad económica al evitar la sustitución prematura y reducir sustancialmente los costos y la demanda de materiales

Reparar las baterías defectuosas, dañadas o degradadas es esencial para prolongar su vida útil, reducir su eliminación prematura y facilitar su reciclaje, y evitar las emisiones derivadas de la fabricación de baterías nuevas. La ampliación de la capacidad de reparación tiene tanto que ver con el cumplimiento normativo y la logística como con la ingeniería. Las baterías de los vehículos eléctricos están reguladas como mercancías peligrosas; los paquetes defectuosos o dañados que presentan riesgos de calor, incendio o cortocircuito son difíciles de transportar y manipular. Esto significa que la clasificación, la eliminación segura, el embalaje conforme a la normativa y las rutas de logística inversa certificadas son requisitos previos para una reparación a gran escala. Se estima que el 92 % de los módulos de los paquetes de baterías defectuosos en garantía aún se consideran funcionales,⁵⁶ lo que pone de relieve el enorme desperdicio de material que supone la sustitución prematura de las baterías.

A nivel mundial, los fabricantes de equipos originales y los fabricantes de baterías están adoptando soluciones basadas en modelos de negocio circulares que les permiten reparar componentes de baterías a nivel de módulo o de celda para prolongar su vida útil. Una vez que se detecta que una batería de vehículo eléctrico presenta una falla o está dañada, los técnicos de los fabricantes de equipos originales (OEM) o de los fabricantes de baterías pueden realizar un diagnóstico de la batería, reparar o reemplazar las piezas defectuosas y devolver la batería al usuario. Según algunas estimaciones, Para 2030 se podría alcanzar una tasa de reparación del 95 % de las baterías defectuosas (frente al 80 % en 2019), lo que supondría un ahorro de costos de 2000 millones de dólares y una reducción de las emisiones de CO₂ de 2 millones de toneladas.⁵⁷ Para los clientes finales, estos servicios de reparación ofrecen una solución económicamente óptima, ya que se prolonga la vida útil del vehículo. Para los fabricantes de equipos originales (OEM) y los fabricantes de baterías, los servicios de reparación de alta calidad ayudan a mejorar su reputación entre los clientes y, cuando se combinan con soluciones BaaS, permiten obtener eficiencias de costos al posibilitar que se obtenga más valor de una batería durante un período de tiempo más largo.

Beneficios:

- La reparación de baterías defectuosas prolonga la vida útil de los minerales críticos en las baterías de los vehículos eléctricos, lo que aumenta la utilización del valor de los materiales.
- La reparación de baterías con un alto valor residual podría generar un ahorro de 2000 millones de dólares para 2030, al tiempo que ofrece soluciones más económicas a los clientes.
- La reparación de baterías consume mucha menos energía que la fabricación de una batería nueva, lo que se traduce en una reducción directa de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

Estudio de caso:**Servicios logísticos de DHL para baterías de vehículos eléctricos**

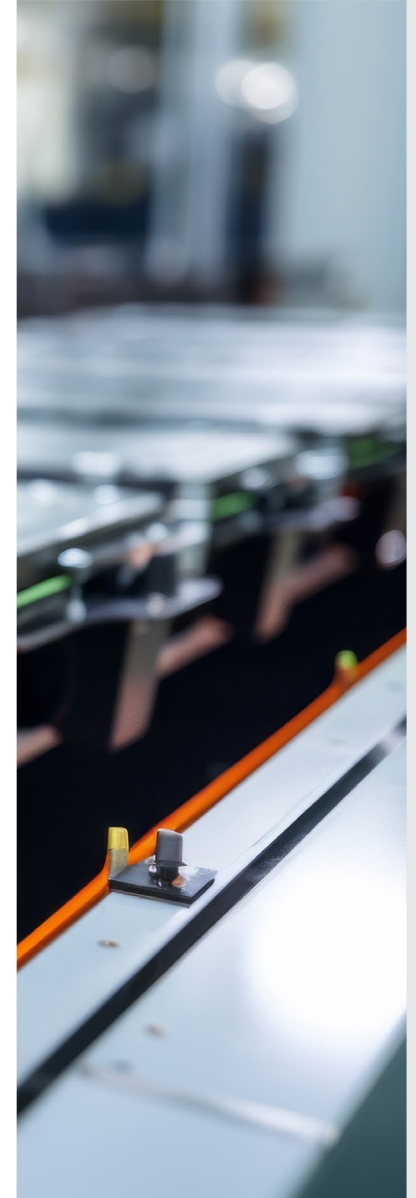
Una economía circular para las baterías de vehículos eléctricos requiere servicios de transporte eficientes y una infraestructura de logística inversa, lo que incluye la recolección, el transporte y el almacenamiento de componentes defectuosos, dañados o de baterías al final de su vida útil. Aprovechando esta tendencia, DHL informa de una red en expansión de más de 15 Centros de Excelencia (CoE) para vehículos eléctricos a nivel mundial, con uno diseñado específicamente para la logística circular de las baterías de vehículos eléctricos en Europa, que ofrece soluciones integradas de principio a fin para el ciclo de vida de las baterías en el mercado posventa.

Los Centros de Excelencia abordan los principales retos logísticos relacionados con las baterías de los vehículos eléctricos. Dado que estas baterías se clasifican como mercancías peligrosas en el transporte, DHL ayuda a sus clientes a cumplir con los diversos requisitos de conformidad en distintas regiones. En el caso de los movimientos transfronterizos, el diagnóstico y la clasificación de las baterías, así como la gestión de volúmenes impredecibles, se llevan a cabo en los centros de almacenamiento de la red de DHL, lo que garantiza el cumplimiento normativo y optimiza las opciones de transporte.

En colaboración con Cox Automotive, DHL ofrece servicios de clasificación y logística de reparación de baterías en el Centro de Excelencia (CoE) del Reino Unido. Las instalaciones cuentan con 3250 metros cuadrados de espacio dedicado a la reparación de baterías y tienen capacidad para gestionar miles de baterías al año. Como parte de esta colaboración, DHL ha invertido más de 800 000 libras esterlinas en un Sistema de Almacenamiento de Energía en Baterías para descargar las baterías y reciclar la energía de vuelta a las instalaciones. Además, DHL se asegura de que todas las baterías dañadas se descarguen y almacenen de forma segura, y las prepara para su reparación.

Gracias a su logística especializada, su experiencia en materia de normativas y sus soluciones centradas en la economía circular, DHL podría respaldar de manera eficiente las soluciones empresariales circulares para las baterías de vehículos eléctricos.

Consulte el sitio web [de DHL](#) para obtener más detalles.



Aumentar la escala y la eficiencia del reciclaje de baterías de vehículos eléctricos es clave para devolver los minerales críticos a la economía, una vez que las baterías han agotado otras opciones de reutilización

Los importantes avances en las tecnologías de reciclaje de baterías están mejorando las tasas de recuperación de materiales críticos como el litio, el cobalto y el níquel. Innovaciones como la pirometalurgia y la hidrometalurgia, la extracción electroquímica y la recuperación de grafito mejoran la eficiencia de los procesos de reciclaje. Las oportunidades son considerables: en condiciones óptimas, un análisis de flujos de materiales estima que el reciclaje de baterías fuera de servicio podría suministrar el 60 % del cobalto, el 53 % del litio, el 57 % del manganeso y el 53 % del níquel de las baterías de iones de litio a nivel mundial en 2040.⁵⁸ Además, los minerales reciclados, como el níquel, el cobalto y el litio, generan aproximadamente un 80 % menos de emisiones de gases de efecto invernadero que los materiales vírgenes extraídos de la minería.⁵⁹

A medida que la ley del mineral disminuye de forma natural, el costo de extraer la misma cantidad de minerales aumentará con el tiempo. Sin un aumento del reciclaje, las inversiones totales en minería para alcanzar las emisiones netas cero para 2050 tendrían que ser aproximadamente un 30 % mayores, lo que agrava aún más el reto de movilizar la financiación necesaria.⁶⁰ Por otro lado, ampliar el reciclaje de baterías ofrece importantes ventajas socioeconómicas, desde la mitigación de la volatilidad de los precios y el suministro hasta la creación de empleos nacionales de alta calidad. Si se adopta un enfoque integral (que tenga en cuenta el impacto económico, la capacidad de creación de empleo, la reducción de las emisiones de carbono y la disminución del uso del agua y la tierra), el reciclaje de baterías podría generar un valor neto de entre 11 300 y 40 300 millones de dólares en beneficios para 2040, lo que supone un rendimiento de la inversión significativamente mayor que el de la minería convencional, según un estudio centrado en los Estados Unidos.⁶¹

A pesar de estas ventajas, la expansión del reciclaje de baterías en todas las regiones sigue siendo limitada debido a la escasa disponibilidad de materia prima, ya que la mayoría de las baterías aún se encuentran en su primer ciclo de uso. Además, las baterías pueden acabar en otras regiones al llegar al final de su vida útil, lo que desvía los materiales de las instalaciones de reciclaje locales. Muchas fuentes han señalado limitaciones de reciclaje a corto plazo, ya que se prevé que los residuos de fabricación sigan siendo la principal fuente de materia prima hasta 2030. Al mismo tiempo, la rápida evolución de la química de las baterías complica

las decisiones de inversión al aumentar la incertidumbre en torno a la composición y los volúmenes futuros de la materia prima. A estos desafíos se suman los diseños de baterías que priorizan cada vez más el rendimiento sobre la modularidad, lo que dificulta el desmontaje y el reciclaje, así como la falta de visibilidad a lo largo de la cadena de valor que sufren los recicladores del final de la cadena, mermando su capacidad para predecir los volúmenes de baterías retiradas.

A largo plazo, el desarrollo de una cadena de valor de reciclaje eficiente y competitiva requerirá esfuerzos integrales para maximizar las tasas de recolección, promover diseños que faciliten el desmontaje y el reciclaje, garantizar que los procesos industriales puedan adaptarse a la evolución de la composición química de las baterías y mejorar la visibilidad de estas a lo largo de toda la cadena de valor.

En apoyo a estas iniciativas, varios países están creando las condiciones necesarias para un ecosistema sólido de reciclaje de baterías de vehículos eléctricos, con el objetivo de garantizar una cadena de suministro más resiliente y reducir las emisiones relacionadas con el uso de materias primas. El nuevo Reglamento de la UE sobre baterías es un motor político clave para el reciclaje de baterías de vehículos eléctricos, ya que impone requisitos mínimos de contenido de material reciclado (16 % para el cobalto, 85 % para el plomo, 6 % para el litio y 6 % para el níquel a partir de 2031), objetivos ambiciosos de recuperación de materiales (por ejemplo, 80 % para el litio hasta 2031) y “pasaportes de baterías” digitales para una mayor transparencia.⁶² Por otra parte, el Reino Unido también está promoviendo la responsabilidad extendida del productor (REP) y fijando como objetivo altas tasas de reciclaje (95 % de las baterías de vehículos eléctricos para 2035),⁶³ mientras que países como Estados Unidos y China están implementando políticas centradas en la REP, la recolección y la recuperación de materiales.

Beneficios:

- El reciclaje ayuda a reducir la dependencia de los recursos vírgenes y fortalece la cadena de suministro de baterías para vehículos eléctricos al crear una fuente de materiales críticos más resiliente y en circuito cerrado.
- La industria del reciclaje ya está empezando a contribuir para reducir el costo de los vehículos eléctricos y los sistemas de almacenamiento de energía.
- El propio sector del reciclaje genera nuevas oportunidades económicas y puestos de trabajo en las áreas de recolección, procesamiento y fabricación.

Estudio de caso:**Alianza entre Altilium y Jaguar Land Rover para la fabricación de baterías con materiales recuperados**

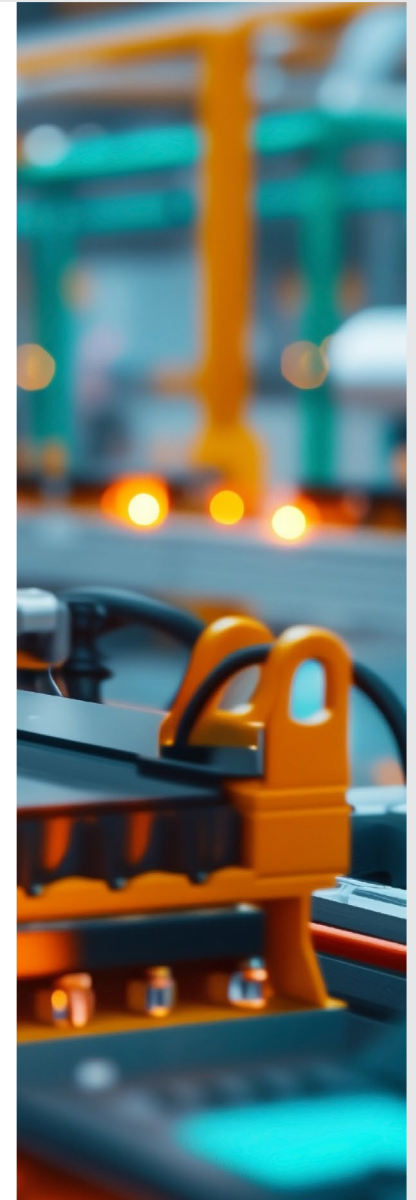
Altilium, una empresa británica de tecnologías limpias, y Jaguar Land Rover (JLR) presentaron en la Cenex Expo 2025 las primeras celdas de batería para vehículos eléctricos del Reino Unido fabricadas con materiales activos de cátodo (CAM) recuperados.

Mediante el proceso EcoCathode de Altilium, las nuevas celdas tipo bolsa multicapa NMC 811 de grado automotriz se diseñaron y fabricaron con éxito en el Centro de Industrialización de Baterías del Reino Unido (UKBIC) utilizando CAM (que incluye cobalto, litio, níquel y manganeso) recuperado de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil. Según las empresas, la proporción de CAM recuperado en las celdas de batería cumple con el objetivo del Reglamento de la UE sobre baterías de 2036 en cuanto al contenido mínimo recuperado (26 % de cobalto, 12 % de litio y 15 % de níquel). Sus pruebas electroquímicas iniciales indican que las celdas fabricadas con materiales recuperados ofrecen un rendimiento comparable al de las producidas con materiales vírgenes, lo que supone un paso importante para validar la idoneidad de los materiales recuperados para aplicaciones de alto rendimiento en vehículos eléctricos.

Las evaluaciones realizadas por terceros revelaron que, además de alcanzar una calidad comparable, las celdas de batería fabricadas con materiales recuperados también mostraban reducciones significativas en las emisiones de gases de efecto invernadero. En una evaluación independiente del ciclo de vida (ACV) realizada por Minviro, basada en el proceso de Altilium y en el diseño y la fabricación de las celdas de UKBIC, se llegó a la conclusión de que las celdas tipo “pouch” de NMC 811 que utilizan CAM 100 % recuperado podrían reducir las emisiones en aproximadamente un 32 % en comparación con las celdas fabricadas con materiales vírgenes. Además de los beneficios en materia de emisiones, la evaluación también sugirió que las celdas podrían conducir a una formación de partículas un 30 % menor, una ecotoxicidad del agua dulce un 58 % menor y un impacto en los recursos minerales y metales un 38 % menor.

Demostrar que los materiales recuperados pueden ofrecer un rendimiento de alta calidad con un impacto ambiental significativamente menor no solo ayuda a cumplir los requisitos normativos, sino que también allana el camino hacia cadenas de suministro de baterías para vehículos eléctricos más sostenibles y resilientes, lo que lo convierte en un modelo atractivo para las futuras iniciativas de reciclaje de baterías.

Consulte los sitios web de [Altilium](#) y [JLR](#) para obtener más detalles.



Los modelos BaaS aumentan las tasas de uso de las baterías de vehículos eléctricos, generan valor económico y reducen el desperdicio estructural de las baterías que permanecen inactivas y se degradan con el tiempo

Los modelos de negocio como el BaaS (que incluye el arrendamiento, el alquiler y el intercambio) transfieren la propiedad, el mantenimiento, la eficiencia y la gestión al final de la vida útil de las baterías de los usuarios a los proveedores. Cada vez más, los fabricantes de automóviles están adoptando modelos BaaS, en los que los usuarios compran el vehículo, pero se suscriben, alquilan o pagan por el uso de la capacidad de la batería. Esto reduce el precio de compra inicial de los vehículos eléctricos para los usuarios, al tiempo que ofrece opciones de actualización flexibles y acceso continuo a baterías en buen estado. Con estos modelos de negocio, los fabricantes de automóviles o de baterías conservan la propiedad y el control de un gran volumen de baterías, lo que fomenta diseños que permiten un uso prolongado, la actualización, la reparación y la reutilización, al tiempo que facilita la recuperación eficiente de los materiales al final de su vida útil sin incurrir en costos de recolección.

Los modelos BaaS permiten instalar estaciones de intercambio donde los clientes pueden cambiar sus baterías de forma rápida y sencilla, al tiempo que facilitan la gestión completa del ciclo de vida, desde la recarga y el mantenimiento hasta la reutilización y el reciclaje. Para garantizar una sustitución eficiente en estas estaciones, cada vez es más habitual el uso de diseños de baterías estandarizados. Además, las estaciones de intercambio de baterías también pueden funcionar como unidades de almacenamiento de energía distribuida. Cuando se conectan a la red, permiten la carga inteligente durante las horas de menor consumo para reducir costos y proporcionar apoyo secundario para la gestión de picos de carga y regulación de frecuencia (ver el estudio de caso de CATL). Como forma de reducir la “ansiedad por la autonomía” y el tiempo de carga, la infraestructura de intercambio de baterías está experimentando una expansión significativa (especialmente en Asia) y se prevé que el mercado alcance los 22 720 millones de dólares en 2035, frente a los 1460 millones de dólares en 2025, con una tasa compuesta de crecimiento anual (CAGR) del 31,5 %.⁶⁴

Beneficios:

- Los modelos BaaS incentivan a los proveedores de baterías a diseñar baterías para la economía circular, lo que prolonga la vida útil y el rendimiento de las baterías. A través de la supervisión, el mantenimiento y la recolección centralizados, las soluciones BaaS mejoran la eficiencia de los recursos.
- Los modelos BaaS crean nuevas oportunidades de negocio para los proveedores de baterías, los fabricantes de automóviles y los servicios financieros.
- Al desvincular la compra de la batería del vehículo, los fabricantes de automóviles pueden reducir los precios de compra iniciales (hasta en un 30 % o 40 %),⁶⁵ y, gracias a las opciones de pago flexibles para las baterías (pago por uso o suscripción), los vehículos eléctricos pueden resultar más accesibles para un mayor número de consumidores.

Los modelos MaaS permiten a las empresas del sector minero y de procesamiento generar mayores beneficios económicos y trasladar el ahorro de costos a lo largo de la cadena de valor

En el marco del modelo MaaS, las empresas mineras arriendan los minerales extraídos a los actores estratégicos del final de la cadena de valor, conservando la propiedad del material a lo largo de todo su ciclo de vida, lo que rompe con el uso único de las materias primas y promueve su flujo circular. El arrendamiento de materiales abre nuevas oportunidades de negocio para las empresas mineras, ya que los contratos de servicio prolongados generan fuentes de ingresos recurrentes, siempre y cuando el producto siga en uso, en lugar de ventas únicas. El MaaS también puede generar ingresos para las empresas de reciclaje y reprocesamiento. Estas pueden actuar como socios contratados para la recuperación, a quienes se les paga mediante tarifas de procesamiento o de servicio y, en ocasiones, con una participación en los ingresos por los materiales recuperados. En general, el MaaS implica la trazabilidad de los activos y un diseño circular que facilite el desmontaje de las baterías, su recolección y la recuperación de minerales.

Al facilitar los ciclos de materiales, el MaaS no solo contribuye a crear una fuente de suministro secundaria a nivel nacional o regional, sino que también fomenta el desarrollo de industrias locales de procesamiento, remanufactura y reciclaje en el país minero. Esto puede impulsar la diversificación económica y generar empleos calificados. Intrínsecamente, dada la naturaleza contractual de MaaS, los participantes en la cadena de suministro se adhieren a los principios de diseño de la economía circular (DfD, extensión de la vida útil, etc.) y a estándares más estrictos en materia ambiental, social y de gobernanza (ESG). El BaaS y el MaaS pueden potenciarse mutuamente, pero para ello sería imprescindible un diseño comercial deliberado y una colaboración estrecha. Al adoptar una perspectiva que abarque toda la cadena de valor, es importante reconocer cómo interactúan entre sí los modelos de negocio emergentes y cómo se puede reunir a la industria para explorar opciones beneficiosas para todo.

Beneficios:

- Los modelos MaaS refuerzan el flujo circular de minerales críticos, garantizando que los materiales arrendados tengan destinos fijos una vez que las baterías se retiran del servicio, lo que aumenta considerablemente la reutilización y el reciclaje de las baterías al final de su vida útil.
- El establecimiento de circuitos cerrados de minerales críticos en determinados mercados regionales y nacionales puede contrarrestar la posible vulnerabilidad de la cadena de suministro de minerales.
- A través de los modelos MaaS, los países extractivos pueden desarrollar industrias locales más allá de la venta de minerales, desplazando el enfoque de la extracción de materiales hacia la gestión y creando fuentes de ingresos diversificadas, lo que fomenta la creación de nuevos empleos calificados en la gestión de datos, la logística o las aplicaciones de segunda vida.

Los modelos de negocio de baterías de segunda vida mantienen las baterías en uso incluso cuando ya no pueden cumplir su propósito principal

La reutilización de baterías usadas de vehículos eléctricos para aplicaciones menos exigentes, como el almacenamiento de energía estacionario, los sistemas de energía de respaldo y la estabilización de la red eléctrica, genera nuevas fuentes de valor y prolonga la vida útil de las baterías, lo que permite mantener los materiales en uso y reducir los residuos. Entre los modelos clave se incluyen la reventa directa, los programas de arrendamiento de baterías y las alianzas estratégicas entre los sectores energético y automotriz. Al vender las baterías usadas a una empresa de reutilización o a un usuario final (por ejemplo, una empresa de almacenamiento), los fabricantes de baterías pueden distribuir el costo de la batería a lo largo de un período prolongado de generación de ingresos y reducir los costos de gestión de residuos. La adopción de baterías en aplicaciones de almacenamiento de energía de segunda vida también puede proporcionar beneficios de estabilización de la red en regiones donde la infraestructura de la red eléctrica no está tan desarrollada, lo que permite que más personas y empresas tengan acceso a la energía que necesitan de forma más confiable y a un costo menor.

Están surgiendo mercados y plataformas B2B para facilitar la reutilización y el reaprovechamiento de las baterías de vehículos eléctricos retiradas del servicio, conectando a los fabricantes de automóviles, los integradores de segundas vidas y las empresas de reciclaje con el fin de maximizar el valor del ciclo de vida y garantizar al mismo tiempo una gestión responsable. Por otro lado, al conservar la propiedad de los productos y materiales a través de modelos como el arrendamiento y el alquiler, los fabricantes de automóviles tienen la flexibilidad de convertirse ellos mismos en operadores de activos o de establecer alianzas con especialistas en energía, lo que les permite aprovechar la fuente de ingresos que genera la segunda vida de las baterías. A medida que maduran los mercados de segunda vida, es cada vez más probable que los fabricantes de

automóviles y los productores de baterías consideren estos modelos como oportunidades estratégicas desde el principio: conservar la propiedad de activos valiosos, captar fuentes de ingresos adicionales y mejorar la eficiencia de los recursos a lo largo del ciclo de vida de la batería. Las proyecciones de mercado sugieren que el sector podría alcanzar unos 7000 millones de dólares para 2033.⁶⁶

Beneficios:

- Los modelos de negocio que promueven el uso de baterías de vehículos eléctricos de segunda vida son esenciales para reducir los residuos de baterías y la demanda de nuevos minerales para ellas.
- Los fabricantes de automóviles y los proveedores de servicios de movilidad pueden generar ingresos a partir de nuevos modelos de negocio mediante la creación de un mercado sólido para las baterías de segunda vida.
- Prolongar la vida útil de las baterías mediante aplicaciones de segunda vida reduce considerablemente la huella de carbono global de las baterías (por unidad de capacidad a lo largo del tiempo) y de una manera mucho más significativa que en un escenario de reciclaje inmediato..⁶⁷

Estudio de caso:

El ecosistema Choco-Swap de CATL

CATL, en colaboración con cerca de 100 socios, ha lanzado en China un ecosistema que combina un modelo BaaS con baterías y sistemas de mantenimiento estandarizados, junto con una infraestructura de intercambio integrada en la red eléctrica. Este innovador modelo de negocio circular para la gestión energética de los vehículos eléctricos beneficia a los consumidores, a los fabricantes de automóviles y al sistema energético.

Modelo BaaS:

Aunque el sistema 'Choco-Swap' permite la compra y recompra de baterías, también posibilita el desarrollo de un modelo BaaS. Este servicio permite a los usuarios adquirir un vehículo eléctrico sin el componente más costoso, la batería, y en su lugar pagar una cuota mensual por el uso de la batería y los servicios de intercambio. Los usuarios pueden elegir entre recargar, intercambiar, alquilar o actualizar las baterías según sus necesidades. Incluir las inspecciones como parte del servicio ayuda a mantener las baterías con una alta capacidad de energía, lo que prolonga su vida útil. En este modelo, los ingresos están vinculados al uso, lo que crea incentivos para maximizar el tiempo que las baterías y los componentes permanecen productivos.

Mantenimiento y estandarización:

CATL aprovecha la base de datos de baterías más grande del mundo para supervisar en tiempo real el rendimiento y la degradación de cada celda de batería intercambiable. Según CATL, este enfoque basado en datos garantiza un uso óptimo y un mantenimiento predictivo, lo que permite lograr un aumento estimado del 30 % en la vida útil de las baterías. Además, al introducir paquetes de baterías estandarizados y modulares compatibles con muchos modelos de vehículos diferentes, la adopción

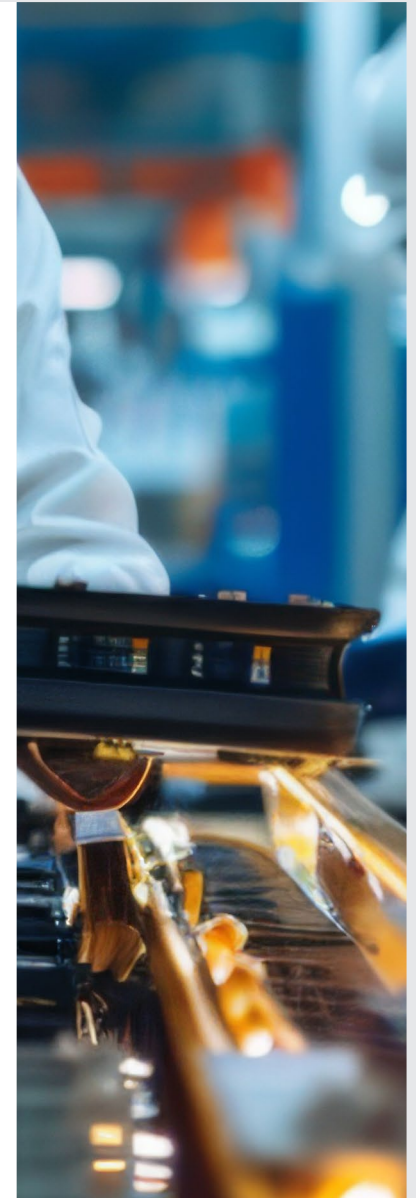
de la infraestructura de intercambio de baterías puede generalizarse. Gracias a la gestión centralizada de las baterías, se facilita su recogida al final de su vida útil, ya que las baterías usadas pueden recuperarse a granel en las estaciones en lugar de a través de los propietarios individuales, lo que supone un paso clave hacia el reciclaje de circuito cerrado.

Almacenamiento de energía distribuida:

CATL anunció la instalación de 30 000 estaciones de intercambio de baterías en toda China junto con sus socios a partir de 2025. Estas no solo permitirán el intercambio de baterías para vehículos eléctricos, sino que también integrarán funciones de recarga y almacenamiento de energía, actuando de hecho como unidades de almacenamiento de energía distribuidas. Cada estación, conectada a través de una plataforma de gestión basada en la nube, interactuará con la red eléctrica, lo que permitirá funciones de "batería a red" (B2G). Las estaciones podrán realizar recargas inteligentes durante las horas de menor demanda a un costo reducido y ofrecer respuestas en tiempo real a las fluctuaciones de carga de la red. CATL afirma que el sistema podría almacenar colectivamente hasta 33,6 millones de kWh, además de 1120 millones de kWh almacenados en vehículos: una potente red distribuida que contribuye a la resiliencia de la red eléctrica y a la integración de las energías renovables en las regiones donde operan.

Al reunir a los socios industriales en un marco común, el ecosistema Choco-Swap de CATL mejora la comodidad de los usuarios, refuerza la seguridad del suministro para los fabricantes y contribuye a la creación de un sistema de movilidad y energía circular, basado en datos y eficiente en el uso de materiales.

Consulte el sitio web de [CATL](#) para obtener más detalles.



El dimensionamiento adecuado de las baterías y el aumento de la densidad energética reducen el desperdicio estructural derivado de la capacidad ociosa de las baterías y los costos de los materiales

Mejorar la densidad energética de las baterías y optimizar su capacidad para adaptarlas al uso previsto puede ayudar a reducir la demanda de minerales críticos. Gracias a la innovación en la composición química de las baterías y a las mejoras en su diseño, la densidad energética de estas ha aumentado significativamente en los últimos años, lo que ha dado lugar a una mayor eficiencia en el uso de materiales y a un ahorro de costos. Por ejemplo, un estudio reveló que, entre 2015 y 2019, la demanda de minerales prevista para 2030 por batería se redujo en más de 3,6 veces en el caso del cobalto y en 1,4 veces para el litio.⁶⁸ Al ritmo actual de innovación, se prevé que la densidad energética de las baterías aumente en más de un 25 % para 2050,⁶⁹ lo que tendrá nuevas repercusiones en la demanda de materiales.

Aunque la densidad de las baterías ha aumentado considerablemente desde su llegada al mercado, el tamaño medio de las mismas también está aumentando, ya que los fabricantes buscan ampliar la autonomía de los vehículos y satisfacer la demanda de los consumidores de modelos más grandes, como los SUV y las camionetas.⁷⁰ Esta tendencia, impulsada por la ansiedad de los consumidores respecto a la autonomía, corre el riesgo de socavar los esfuerzos por mejorar la eficiencia de las baterías y, al mismo tiempo, aumentar la demanda de minerales. Diseñar baterías con un tamaño adecuado para su función (adaptando la autonomía de los vehículos a los hábitos de desplazamiento de los consumidores y al transporte de mercancías, en lugar de optar por una batería grande “de tamaño único”) podría reducir los costos y la demanda de materiales. Los fabricantes podrían facilitar el dimensionamiento adecuado de las baterías para satisfacer los distintos requisitos en cuanto a autonomía y capacidad de pasajeros. Por ejemplo, en el transporte compartido de pasajeros, como los taxis, los servicios de autos compartidos y los servicios de movilidad bajo demanda, las altas tasas de uso y los requisitos de gran

autonomía exigirían baterías de alto rendimiento y altas especificaciones. Por el contrario, en ciudades compactas y densamente pobladas, donde la distancia de desplazamiento es menor (por lo general, en las ciudades europeas la distancia recorrida diariamente es de apenas 12,4 km por persona),⁷¹ las baterías más pequeñas son más adecuadas. Las campañas de comunicación destinadas a fomentar la adopción de vehículos eléctricos de menor autonomía serán fundamentales para reducir la ansiedad por la autonomía y ajustar las expectativas. Un estudio estima que revertir la tendencia actual hacia baterías de vehículos eléctricos más grandes tendría el impacto más significativo e inmediato: una reducción del 20 % en el tamaño medio de las baterías, en comparación con los niveles actuales, reduciría la demanda mundial anual de baterías y minerales en un 28 % en 2035 y en un 27 % en 2050.⁷²

Beneficios:

- Optimizar la eficiencia de las baterías y dimensionarlas correctamente puede reducir a la mitad la demanda de minerales en 2050.⁷³
- Para los conductores urbanos y rurales, duplicar el tamaño de la batería podría aumentar el costo total de propiedad entre un 20 % y un 23 %, lo que implica que un dimensionamiento adecuado ofrece ahorros sustanciales.⁷⁴
- El dimensionamiento adecuado de las baterías se inscribe en un sistema de movilidad circular que consiste en aprovechar al máximo cada vehículo mediante sistemas bajo demanda, diseñar cada vehículo para su caso de uso específico y distribuir los desplazamientos de manera eficaz entre los distintos modos de transporte, incluyendo el transporte público, los desplazamientos a pie y en bicicleta.

Los sistemas de transporte bajo demanda y habilitados digitalmente pueden ayudar a maximizar el número de kilómetros de movilidad que proporciona cada batería de vehículo eléctrico a lo largo de su vida útil

Ofrecer un sistema de transporte multimodal, digitalizado, bajo demanda y con cero emisiones es un aspecto importante de la economía circular en las ciudades. Un sistema de movilidad urbana de este tipo emplearía tecnologías digitales para integrar los modos de transporte, permitiendo a las personas alternar entre opciones de transporte personal, compartido y público en un sistema optimizado. Contaría con el respaldo de una plataforma digital que permitiera planificar los viajes y ofrecer una solución de pago única, creando así una experiencia cómoda para el usuario. Esto también ayudaría a reducir la ansiedad por la autonomía y la consiguiente demanda de baterías más grandes, al permitir el acceso a diferentes tipos de vehículos eléctricos. El aumento resultante en las tasas de utilización de los vehículos conduciría a una reducción en el número de vehículos en las calles y a una disminución de la congestión del tráfico. También liberaría una cantidad significativa de terreno urbano, que podría reasignarse a espacios verdes, parques, viviendas o áreas comerciales, aportando considerables beneficios para la naturaleza, el clima y la sociedad, tal y como se describe en el informe «Building Prosperity» de la Fundación.⁷⁵

Además, dado que la mayoría de los automóviles privados permanecen estacionados alrededor del 90 % del tiempo,⁷⁶ una movilidad bajo demanda puede aumentar la productividad de los materiales de las baterías, maximizando la utilización de los recursos incorporados. Otros elementos clave del diseño de los sistemas de movilidad a escala urbana son: el desarrollo de ciudades compactas para una movilidad eficaz; la infraestructura de recarga y las estaciones de intercambio de baterías; y las soluciones basadas en macrodatos para optimizar los sistemas de movilidad.

Beneficios:

- Un sistema de transporte menos dependiente de los vehículos podría reducir la demanda mundial de minerales entre un 6 % y un 8 % en 2035 y un 17 % en 2050.⁷⁷
- Un sistema de movilidad compartida en Europa podría reducir la demanda de materias primas entre un 26 % y un 54 % para 2050.⁷⁸
- Las opciones de movilidad bajo demanda ofrecen un ahorro considerable a los hogares y benefician de manera desproporcionada a los miembros de las comunidades más desfavorecidas.

Los sistemas V2G amplían los servicios de almacenamiento de energía que proporcionan las baterías de los vehículos eléctricos a lo largo de su vida útil, desempeñando un papel importante en las redes de electricidad renovable

Gracias a la tecnología V2G, las baterías de los vehículos eléctricos pueden devolver electricidad a la red durante los picos de demanda, lo que convierte de hecho a cada automóvil en una unidad de almacenamiento móvil. A gran escala, esto da lugar a un sistema energético distribuido que mejora la estabilidad y la resiliencia de la red, al tiempo que reduce los costos de electricidad para los usuarios. Cuando miles de vehículos eléctricos funcionan al mismo tiempo, pueden proporcionar servicios de flexibilidad a la red eléctrica, lo que reduce la necesidad de costosas mejoras en la infraestructura y de grandes instalaciones de almacenamiento centralizadas. Esto también ayuda a evitar los costos materiales y ambientales que implica la construcción de nuevas redes de transmisión y distribución de alta capacidad. Un estudio sugiere que equipar tan solo al 50 % de los vehículos eléctricos con tecnología V2G podría reducir la demanda total de materiales primarios de la Unión Europea para el almacenamiento estacionario en hasta el 7,5 % entre 2020 y 2050.⁷⁹ Estas medidas podrían mitigar los riesgos geopolíticos y mejorar la seguridad del suministro de materiales. China ya ha anunciado 30 proyectos piloto de V2G en nueve ciudades, lo que pone de relieve el potencial real de esta solución. Estos beneficios podrían ser especialmente importantes en zonas con una infraestructura de red eléctrica más incipiente, lo que aumenta la resiliencia de los sistemas energéticos, especialmente en el Sur Global.

Beneficios:

- Las soluciones V2G ayudan a satisfacer las necesidades de almacenamiento de energía, evitando así la demanda de materiales asociada a la producción e instalación de nueva infraestructura de transmisión y distribución.
- Los proveedores de energía evitan costosas actualizaciones de infraestructura, mientras que los hogares y las flotas obtienen nuevos ingresos al cargar los vehículos durante las horas de menor consumo y vender electricidad a la red durante las horas de mayor consumo.
- Al eliminar la necesidad de recurrir a centrales de “pico de demanda” que funcionan con combustibles fósiles para satisfacer la demanda energética en las horas de mayor consumo, las soluciones V2G pueden ayudar a evitar emisiones adicionales de gases de efecto invernadero.

APÉNDICE

Explorar las cinco áreas de oportunidad de la economía circular: dónde actuar y quién debe liderar

5 áreas de oportunidad »	Diseñar baterías pensando en la circularidad, no en la eliminación	Reformular el servicio de baterías en sistemas optimizados de energía y movilidad	Ampliar los modelos de negocio circulares	Construir y coinvertir en infraestructuras circulares regionales	Hacer que el sistema operativo circular funcione
Materias primas y suministro al inicio de la cadena			Implementar y ampliar acuerdos MaaS que mantengan los materiales en ciclos predecibles y fomenten una recuperación de alta calidad.	Coinvertir en logística inversa e infraestructura de reciclaje para facilitar la puesta a prueba y la expansión de modelos de negocio circulares, como el MaaS.	Informar a los formuladores de políticas sobre las condiciones necesarias para ampliar los modelos de negocio circulares.
Fabricación de baterías y vehículos	Establecer normas de diseño circular (por ejemplo, en torno a la modularidad, los elementos de fijación interoperables, las soluciones de desadhesión y los diagnósticos integrados). Crear conjuntamente productos y componentes con los actores del final de la cadena (reparadores, remanufacturadores, recicladores) para permitir ciclos eficaces al final de la primera vida útil. Incluir criterios de diseño circular en los requisitos para los proveedores.	Dimensionar adecuadamente las baterías desde la fase de diseño, mediante la planificación del producto y la arquitectura del vehículo. Implementar modelos de negocio circulares (suscripción, intercambio) para maximizar la productividad mineral por kilómetro recorrido. Colaborar con otros actores del sistema, como los operadores de la red eléctrica y las ciudades, para planificar la implementación eficaz de soluciones de movilidad optimizadas.	Ampliar los modelos de BaaS y basados en servicios, incluyendo el intercambio y los servicios integrados de movilidad y energía. Fomentar los mercados de segunda vida al reorientar las baterías de los vehículos eléctricos hacia aplicaciones de reutilización, como el almacenamiento estacionario de energía. Invertir en capacitación y formación para impulsar nuevos modelos de negocio basados en servicios, cuando sea pertinente.	Coinvertir en centros regionales de recirculación junto con los actores de toda la cadena de valor para compartir riesgos, conocimientos e infraestructura. Considerar la posibilidad de coordinarse con otros que utilicen composiciones químicas similares en las baterías para mejorar la eficiencia y la viabilidad económica. Desarrollar capacidad regional integral (recogida, clasificación, reciclaje, reprocesamiento) a gran escala, cuando sea pertinente. Formar alianzas de compradores para garantizar la demanda de minerales críticos circulares.	Informar a los formuladores de políticas sobre las condiciones necesarias para ampliar la reparación, la remanufactura y el reciclaje.
Fase de uso, extensión de la vida útil y reciclaje	Proporcionar información a los fabricantes de baterías y vehículos sobre los obstáculos de diseño que dificultan la reparación, el reacondicionamiento y el reciclaje. Colaborar con los actores de la cadena de valor en el desarrollo de directrices de diseño que permitan una reparación, un reacondicionamiento y un reciclaje más eficaces.	Colaborar con otros actores del sistema para integrar de forma fluida las actividades del ciclo interno, como la reparación, en los sistemas de movilidad, facilitando la adopción de soluciones de movilidad optimizadas.	Probar modelos de negocio de “gestión de materiales” para generar más valor que la simple venta puntual de materiales reciclados.	Desarrollar servicios especializados y conformes a la normativa para el transporte de baterías usadas y al final de su vida útil, tanto dentro de una misma región como entre regiones.	Informar a los formuladores de políticas públicas sobre las condiciones necesarias para ampliar la reparación, la remanufactura y el reciclaje.

5 áreas de oportunidad »	Diseñar baterías pensando en la circularidad, no en la eliminación	Reformular el servicio de baterías en sistemas optimizados de energía y movilidad	Ampliar los modelos de negocio circulares	Construir y coinvertir en infraestructuras circulares regionales	Hacer que el sistema operativo circular funcione	67
Integración de los sistemas de energía y movilidad		Desarrollar marcos normativos y tarifas que faciliten la tecnología V2G y los servicios relacionados. Colaborar con los organismos reguladores, los operadores de puntos de recarga y las ciudades para desarrollar la infraestructura de recarga y ampliar el uso de las baterías de los vehículos eléctricos.	Colaborar con los actores de la cadena de suministro, los gestores de activos y los inversores para aplicaciones de segunda vida y la planificación de la red eléctrica.			
Finanzas y asignación de capital	Ajustar las decisiones de inversión a los indicadores de intensidad de materiales y de uso para reducir la demanda de minerales críticos en los sectores de la movilidad y el almacenamiento.		Diseñar instrumentos para determinar el valor de los activos de las baterías y los materiales a lo largo de múltiples ciclos de vida.	Implementar instrumentos de financiación combinada y de reparto de riesgos para movilizar inversiones públicas y privadas en infraestructuras de recogida, diagnóstico, remanufacturación y reciclaje de alta calidad.		
Gobernanza, normas y coordinación	Establecer normas y reglamentos en materia de durabilidad, reparabilidad, reciclabilidad y disponibilidad de datos. Crear los incentivos económicos necesarios para fomentar la adopción de baterías para vehículos eléctricos diseñadas con materiales circulares y aptas para su reciclado.	Apoyar el desarrollo de servicios de movilidad compartida, redes de recarga y transporte multimodal para promover el uso de vehículos de tamaño adecuado y dar a conocer sus ventajas. Exigir a los operadores de puntos de recarga que aumenten la interoperabilidad entre baterías e infraestructuras de recarga e instalen cargadores bidireccionales. Introducir una tarificación variable (por ejemplo, tarifas de aparcamiento basadas en el peso de la batería y del vehículo). Revisar las normas de contratación pública para crear señales de demanda que favorezcan la adopción de soluciones circulares.	Fortalecer la colaboración transfronteriza y armonizar las normas sobre la clasificación de los productos al final de su vida útil y el transporte de baterías, con el fin de crear un mercado de segunda vida y facilitar la circulación de componentes y minerales al final de su vida útil.	Ofrecer marcos normativos favorables, instrumentos de mitigación de riesgos y financiación pública para catalizar la inversión privada, especialmente en economías emergentes y en desarrollo, con el fin de construir infraestructuras regionales de recogida, clasificación, reciclaje y tratamiento. Desarrollar marcos de transparencia y trazabilidad para generar certeza sobre los flujos previstos de materiales y reducir el riesgo de las inversiones en las regiones. Armonizar las normas de transporte transfronterizo y los incentivos de las políticas públicas para facilitar el movimiento eficiente y la recirculación de los materiales de las baterías (reparación, segunda vida, reciclaje), apoyando el desarrollo de la capacidad local/regional cuando ello aporte valor añadido.	Definir requisitos comunes en materia de datos, modelos de gobernanza y mecanismos de garantía para los pasaportes de baterías y las herramientas de trazabilidad. Garantizar la adopción global por parte de todos los proveedores de pasaportes de baterías. Garantizar que los datos relevantes se compartan a lo largo de la cadena de valor (dentro de los marcos de gobernanza) para facilitar la recirculación eficiente de las baterías. Participar en proyectos piloto para orientar la planificación de infraestructuras y el diseño de políticas públicas.	

- 1 BloombergNEF, Perspectivas de vehículos eléctricos 2025 (2025)
- 2 Se espera que el tamaño de la industria automovilística alcance los 6.678 billones de USD en 2032, Futuros Fintech (2024).
- 3 Perspectivas sobre negocios de Fortune, Tamaño, cuota y participación del mercado de vehículos eléctricos (VE), Análisis de la industria y previsión regional, 2025-2032 (2025).
- 4 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Informe sobre la Brecha de Emisiones 2024: No más aire caliente... ¡Por favor! (2024)
- 5 Agencia Internacional de la Energía, Perspectivas globales de vehículos eléctricos 2025 (2025)
- 6 Agencia Internacional de la Energía, Perspectivas Energéticas Mundiales 2025 (2025).
- 7 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación, Transiciones críticas: circularidad, equidad y responsabilidad en la búsqueda de minerales de transición energética (2024)
- 8 Agencia Internacional de la Energía, El papel de los minerales críticos en las transiciones hacia la energía limpia (2021).
- 9 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación, Transiciones críticas: circularidad, equidad y responsabilidad en la búsqueda de minerales de transición energética (2024)
- 10 Agencia Internacional de la Energía, Perspectiva Global de Minerales Críticos 2025 (2025)
- 11 Agencia Internacional de la Energía, Reciclaje de minerales críticos (2024)
- 12 *ibid.*
- 13 Lamb, I. P., et al., Amenazas globales de las industrias extractivas a la biodiversidad de vertebrados, Current Biology (2024)
- 14 Stanimirova, R., et al., La minería está avanzando cada vez más hacia selvas tropicales críticas y áreas protegidas, Instituto Mundial de Recursos (2024)
- 15 Fondo Mundial para la Naturaleza, Bosques extraídos: Descubriendo el papel de la deforestación relacionada con la minería como motor de la deforestación global (2023)
- 16 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y GRID-Arendal, Almacenamiento de Relaves en Minas : La seguridad no es un accidente (2017)
- 17 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Panel Internacional de Recursos, Perspectivas de Recursos Globales 2024 (2024)
- 18 Agencia Internacional de la Energía, El papel de los minerales críticos en la transición hacia la energía limpia: Requisitos minerales para la energía limpia Transiciones (2021)
- 19 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación, Transiciones Críticas: Circularidad, equidad y responsabilidad en la búsqueda de minerales para la transición energética (2024)
- 20 Gaines, L., et al., Seguimiento de flujos de materiales de baterías al final de su vida útil y chatarra de fabricación, baterías (2023)
- 21 Gong, W. T., et al., Capturando los riesgos sociales potenciales a lo largo las cadenas de suministro para baterías NCM fabricadas en China, Producción y Consumo Sostenibles (2025)
- 22 Domingues, A. M., et al., Impactos sociales del ciclo de vida de las baterías de iones de litio: Consecuencias y agenda de investigación futura para una transición segura y justa, Investigación Energética y Ciencias Sociales (2024)
- 23 Mancini, L. y Sala, S., Evaluación del impacto social en el sector minero: Revisión y comparación de marcos de indicadores, Resources Policy (2018)
- 24 De Haes S. y Brink H., Impactos sociales de la extracción de materias primas críticas: Desafíos y puntos de entrada para la gobernanza, PBL Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos (2025)
- 25 Organización Internacional del Trabajo, El impacto global de los residuos electrónicos: Abordando el desafío (2012)
- 26 Aguilar Lopez, F., et al., Sobre el potencial de las baterías vehículo-red y de segunda vida para proporcionar seguridad energética y material, Nature Communications (2024)
- 27 Agencia Internacional de la Energía, Perspectiva Global de VE 2025 (2025)
- 28 Yale Medio Ambiente 360, más de la mitad de los desplazamientos a nivel mundial son realizados en coche, según un estudio (2024)
- 29 Rettenmeier, M., Moller, M., y Sauer, A., Tecnologías de desmontaje de paquetes de baterías automotrices al final de su vida útil como piedra angular de una cadena de valor circular de baterías: Un análisis orientado a procesos, Resources, Conservation and Recycling (2024)
- 30 Donaldson, P., Baterías de celda a empaquetado, Ingeniería de E-Movilidad (s.f.)
- 31 Ritchie, H. y Rosado, P., ¿Qué países poseen los minerales críticos necesarios para la transición energética? Nuestro mundo en datos (2024)
- 32 Agencia Internacional de Energía, Perspectiva Global de VE 2025 (2025)
- 33 Agencia Internacional de Energía, Seguimiento de Políticas de Minerales Críticos (actualizado 2025)
- 34 Agencia Internacional de Energías Renovables, Geopolítica de la Transición Energética: Materiales Críticos (2023)
- 35 Agencia Internacional de la Energía, Perspectiva Global de Minerales Críticos 2025 (2025)
- 36 Investigación de precedentes, Tamaño, cuota de mercado y tendencias del mercado de reciclaje de baterías de iones de litio 2026 a 2035 (2026)
- 37 Unión Europea, Reglamento (UE) 2023/1542 sobre baterías y residuos de baterías, por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y derogación de la Directiva 2006/66/CE, Revista Oficial de la Unión Europea (2023)
- 38 Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, Aviso sobre la publicación de "Medidas provisionales para la gestión del reciclaje y la utilización de baterías de potencia para vehículos de nueva energía", Ministerio de Industria y Tecnología de la Información de la República Popular China (2020)
- 39 La revolución del reciclaje de baterías en el sudeste asiático, Speeda (2025)
- 40 Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Guía de la ONU para la Acción sobre Minerales Críticos para Transición Energética (2025)
- 41 Agencia Internacional de Energías Renovables, Geopolítica de la Transición Energética: Materiales Críticos (2023)

- 42 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Transiciones críticas: Circularidad, equidad y responsabilidad en la búsqueda de minerales para la transición energética (2024)
- 43 Mazzocco, I. y Featherston, R., El cambio global hacia los vehículos eléctricos: el papel de China y la política industrial en las economías emergentes, Center for Strategic and International Studies (2025)
- 44 Iniciativa para la Garantía de la Minería Responsable, Norma IRMA para la Minería Responsable v1.0 (2018)
- 45 ICMM, Minería Responsable (s.f.)
- 46 Foro de Recursos Mundiales e Índice Minería Responsable, Informe RMI+ 2025 (2025)
- 47 Esto incluye la Guía de la OCDE sobre la diligencia debida para cadenas de suministro responsables de minerales procedentes de zonas afectadas por conflictos y de alto riesgo (Fuente: OCDE, 2016), la creación de normas por parte de la Iniciativa para la Garantía de la Minería Responsable (Fuente: IRMA, 2024), la norma “Hacia una Minería Sostenible” desarrollada por la Asociación Minera de Canadá (Fuente: TSM) y marcos de garantía como Copper Mark (Fuente: Copper Mark)
- 48 Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Critical Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Transiciones críticas: circularidad, equidad y responsabilidad en la búsqueda de minerales para la transición energética (2024)
- 49 Foro Intergubernamental sobre Minería, Minerales, Metales y Desarrollo Sostenible (IGF), Minería artesanal y a pequeña escala de minerales críticos, Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible (2024)
- 50 Bouvier, M. y Dias, S.M., Recicladores en Brasil: un perfil estadístico, WIEGO (2021)
- 51 Banco Mundial, Lograr una minería artesanal y a pequeña escala (ASM) sostenible e inclusiva: un marco renovado para la participación del Banco Mundial (2024)
- 52 Tingini, T. L. y Eniowo, O. D., “Romper el ciclo informal: integrar la minería artesanal y a pequeña escala en la economía formal”, Mineral Economics (2025)
- 53 Pisano, V., et al., La Política Nacional de Residuos Sólidos de Brasil: perspectivas de las redes cooperativas de recicladores, Ambiente & Sociedade (2022)
- 54 Chen, H., Yang, Y. y Dong, Z., “El efecto del diseño del producto en la eficiencia del reciclaje de las baterías de iones de litio mediante modelos de ecuaciones estructurales y el análisis del ciclo de vida”, Scientific Reports (2025)
- 55 Lander, L., et al., “Breaking it down: Una evaluación técnico-económica del impacto del diseño de los paquetes de baterías en los costos de desmontaje”, Applied Energy (2023).
- 56 Autocraft EV Solutions, Cerrando la brecha de confianza en los vehículos eléctricos: el papel de la remanufactura de baterías (2025)
- 57 Foro Económico Mundial y Alianza Global de Baterías, Una visión para una cadena de valor sostenible de las baterías en 2030: liberar todo el potencial para impulsar el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático (2019)
- 58 Dunn, J., et al., Circularidad de los materiales de las baterías de iones de litio en los vehículos eléctricos, Environmental Science & Technology (2021)
- 59 ibid.
- 60 Agencia Internacional de la Energía, Reciclaje de minerales críticos (2024)
- 61 Buzwani, M., et al., Reciclaje de baterías: cómo tener en cuenta los beneficios sociales y medioambientales aumenta la rentabilidad, Rocky Mountain Institute (2025)
- 62 Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023, relativo a las baterías y los residuos de baterías, por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y se deroga la Directiva 2006/66/CE (DO L 191, 28.7.2023, pp. 1-117)
- 63 Departamento de Empresa y Comercio, Estrategia del Reino Unido sobre baterías (2023)
- 64 Guerra, M., “Mercado del intercambio de baterías: CATL y Ample lideran la expansión mundial”, Battery Technology (2024)
- 65 Frost & Sullivan, La batería como servicio (BaaS) está a punto de revolucionar el mercado mundial de vehículos eléctricos (2025)
- 66 IDTechEx, Baterías de vehículos eléctricos de segunda vida 2023-2033 (2023)
- 67 Un estudio de 2025 sobre la flota de vehículos eléctricos de California estimó que un enfoque que priorice el “segundo uso” podría elevar el total de emisiones evitadas a 56 millones de toneladas para 2050, en comparación con los 48 millones de toneladas que se lograrían en un escenario de reciclaje inmediato. Fuente: Shaikh, K., “California podría reducir en 56 millones de toneladas las emisiones de CO2 utilizando baterías de vehículos eléctricos retiradas”, Interesting Engineering (2025)
- 68 Rocky Mountain Institute, “The Battery Mineral Loop: The path from extraction to circularity” (2024)
- 69 Ibid.
- 70 Zhang-Billert, Y., et al., Para los vehículos eléctricos, cuanto más pequeños, mejor, World Resources Institute (2025)
- 71 Ibid.
- 72 El Consejo Internacional para el Transporte Limpio, “Electrificación del transporte por carretera con menos minería: Perspectivas globales y regionales sobre los materiales para baterías” (2024)
- 73 Dunn, J., et al., Reducción de la demanda de minerales para vehículos eléctricos de batería mediante la eficiencia, la autonomía y las nuevas tecnologías, Transportation Research Part D: Transport and Environment (2025)
- 74 El Consejo Internacional para el Transporte Limpio, ¿Cuanto más grande, mejor? Cómo influye el tamaño de la batería en el consumo energético real, el costo de propiedad y las emisiones a lo largo del ciclo de vida de los vehículos eléctricos (2024)
- 75 Fundación Ellen MacArthur, Construyendo la prosperidad: Liberando el potencial de una economía circular y positiva para la naturaleza en Europa (2024)
- 76 Fundación Ellen MacArthur, “Crecimiento desde dentro: una visión de la economía circular para una Europa competitiva” (2015)
- 77 Consejo Internacional sobre Transporte Limpio, Electrificar el transporte por carretera con menos minería: una perspectiva global y regional sobre los materiales para baterías (2024)
- 78 Husmann, J., et al., “Determinación de los factores clave del suministro potencial de materias primas para baterías secundarias procedentes de la mina urbana en la Unión Europea”, Resources, Conservation and Recycling (2025)
- 79 Aguilar López, F., et al., “Sobre el potencial de las baterías vehículo-red y de segunda vida para proporcionar seguridad energética y material”, Nature Communications (2024)



© COPYRIGHT 2026
ELLEN MACARTHUR FOUNDATION

www.ellenmacarthurfoundation.org

Charity Registration No.: 1130306
OSCR Registration No.: SC043120
Company No.: 6897785