



Hoja informativa

Reutilización de baterías de vehículos eléctricos y segunda vida

¿Qué es la reutilización de vehículos eléctricos?

Cuando una batería de vehículo eléctrico (VE) llega al "final de su vida útil" en torno al 80%¹ de su capacidad original y ya no puede servir de soporte a un vehículo, aún tiene potencial para proporcionar almacenamiento de energía en diferentes aplicaciones, como a través de servicios de red, almacenamiento residencial, microrredes, apoyo a la carga de VE y carga de pequeños dispositivos personales. La reutilización de la batería puede darle una segunda vida útil, un proceso que reduce los residuos peligrosos y ahorra material y energía en comparación con el proceso de reciclado.

La reutilización de las baterías de los vehículos eléctricos también tiene implicaciones más amplias para la justicia ambiental. La reutilización prolonga la vida útil de la batería y puede reducir la demanda de metales preciosos como el litio, el níquel y el cobalto. Estos minerales se extraen de países del Sur global (donde hay menos protección ambiental y social), en un proceso que afecta negativamente a las comunidades locales e indígenas, sus tierras, medios de vida, ambiente y seguridad.² La reutilización también ofrece potencialmente una alternativa a los países que carecen de las instalaciones adecuadas y del complejo sistema de gestión de residuos necesario para procesar y reciclar las baterías de ion de litio.³

¹ Zhu, J., Mathews, I., Ren, D., Li, W., Cogswell, D., Xing, B., Sedlatschek, T., Sai, Yi, M., Gao, T., Xia, Y., Zhou, Q., Wierzbicki, T., & Bazant, M. Z. 2021. End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries. *Cell Reports Physical Science*, 2(8), 100537–100537. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100537>.

² Grossman, A., Matías Enrique Mastrangelo, Camilo, & Mónica Blanco Jiménez. 2023. Environmental Justice Across the Lithium Supply Chain: A Role for Science Diplomacy in the Americas. *The Journal of Science Policy & Governance*, 22(02). <https://doi.org/10.38126/jspg220205>.

³ Sustainability for All? The challenges of predicting and managing the potential risks of end-of-life electric vehicles and their batteries in the Global South. 2022. ResearchGate. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1510523/v1>.

Ejemplos de reutilización de baterías de VE

Existen muchas opciones de segunda vida para las baterías de los vehículos eléctricos. Por ejemplo, pueden reutilizarse en sistemas de almacenamiento de energía residencial, industrial y a escala de red. Si se combinan con energía solar, pueden proporcionar estabilidad y resistencia a hogares o empresas que no pueden acceder a la energía solar por la noche. Además, las baterías de VE reutilizadas pueden emplearse para reducir los picos de consumo de la red. Esto es cuando las baterías se cargan durante las horas no pico/con energía solar, y luego la energía se descarga durante las horas pico. Esto puede ahorrar dinero a la gente y proporcionar resistencia a la red cuando la demanda de energía es alta. Además, las baterías reutilizadas de los vehículos eléctricos pueden combinarse con fuentes de energía renovables y microrredes, para proporcionar acceso a la energía a las comunidades rurales, lo que podría repercutir en las zonas de pobreza energética. Un estudio publicado en Scientific Reports reveló que las baterías de segunda vida de los vehículos eléctricos eran una opción viable y rentable para electrificar escuelas primarias rurales en Kenia.⁴ Otras aplicaciones de las baterías reutilizadas son el almacenamiento de energía para dispositivos personales, carretillas elevadoras electrónicas y maquinaria de fabricación, y estaciones de carga de vehículos eléctricos.

En Estados Unidos y en el extranjero hay una gran variedad de empresas emergentes que se dedican a la reutilización de baterías de vehículos eléctricos en diferentes contextos: desde empresas de software y hardware centradas en mejorar el proceso de reutilización hasta laboratorios de innovación y microrredes. En Estados Unidos, ReJoule ha comercializado una solución propia de hardware y software para evaluar rápidamente el estado de salud de las baterías de los vehículos eléctricos, de modo que sus clientes puedan encontrar fácilmente baterías con características similares y combinarlas.⁵ Otra empresa europea, Mobility House, ha utilizado baterías de vehículos eléctricos reutilizadas en un sistema de almacenamiento de 3 MWh para un estadio de fútbol de Ámsterdam que se combina con la energía solar⁶ and a 1.6 MWh system that pairs with wind energy to provide grid services in Berlin.⁷ En Canadá, la empresa Moment Energy reutiliza baterías de vehículos eléctricos para crear sistemas de almacenamiento de energía que utilizan fuentes de energía renovables para suministrar energía en zonas rurales y fuera de la red.⁸

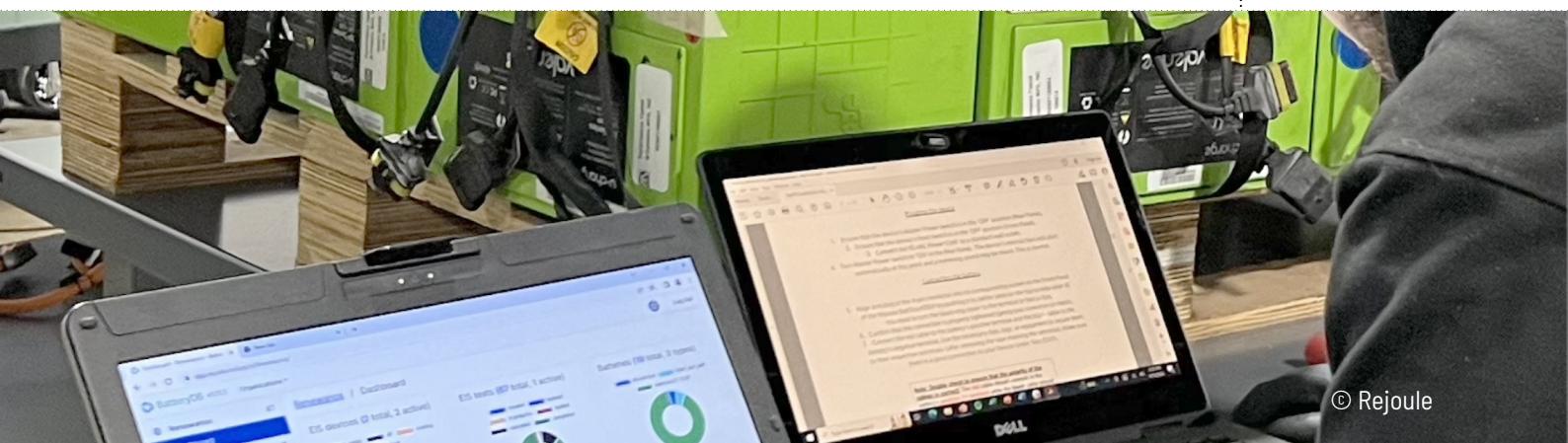
⁴ Nisrine Kebir, Leonard, A., Downey, M., Jones, B., Rabie, K., Sivapriya Mothilal Bhagavathy, & Hirmer, S. A. 2023. Second-life battery systems for affordable energy access in Kenyan primary schools. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28377-7>.

⁵ ReJoule. 2024. <https://rejouleenergy.com/>. For more on how to maximize the value of an EV and its battery, please see ReJoule's white paper that was co-published with the Automotive Recyclers Association: <https://rejouleenergy.com/automakers>.

⁶ The Mobility House. 2018. https://www.mobilityhouse.com/int_en/our-company/newsroom/article/johan-cruijff-area-3mw-energy-storage-system-launch.

⁷ (The Mobility House, 2018)

⁸ Moment Energy's Projects. 2021. <https://www.momentenergy.com/our-projects>.



© ReJoule

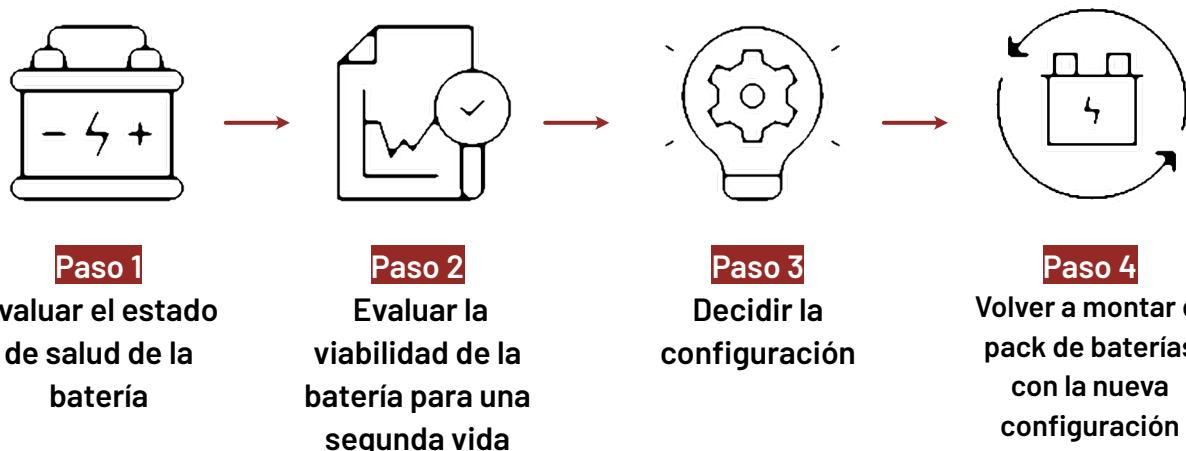
¿Cuáles son los pasos necesarios para reutilizar las baterías de los VE?

El proceso de reutilización de una batería de ion litio requiere cuatro pasos: **(1) evaluar el estado de salud de la batería, (2) evaluar la viabilidad de la batería para una segunda vida, (3) decidir una configuración y (4) volver a montar la batería en la nueva configuración.**

El desmontaje de la batería es necesario a lo largo de todo el proceso para realizar pruebas y acceder a las distintas partes de la batería. Esto puede resultar difícil y muy inaccesible, ya que actualmente los fabricantes no diseñan las baterías de los vehículos eléctricos teniendo en cuenta su reutilización (más información en la hoja informativa de [GAIA: Desmontaje de baterías de vehículos eléctricos](#)). A lo largo del proceso de desmontaje, hay una serie de preocupaciones de justicia ambiental en torno a la seguridad de los trabajadores, como el trabajo con productos químicos peligrosos, el riesgo de incendios y las descargas eléctricas. En EE.UU., las instalaciones de reutilización deben estar certificadas por UL 1974, la norma para la evaluación de la reutilización de baterías de VE. Esta certificación implica "requisitos para el proceso de clasificación y nivelación de baterías destinadas a reutilización... [y] requisitos específicos de la aplicación para paquetes/sistemas de baterías reutilizadas y paquetes/sistemas de baterías que utilicen módulos, células y otros componentes reutilizados".⁹ El proceso de certificación puede llevar mucho tiempo, pero es necesario para garantizar la seguridad de los procesos de reutilización.

⁹ UL Certification Helps Promote Repurposing of Electric Vehicle (EV) Batteries. (2022). UL Solutions. <https://www.ul.com/news/ul-certification-helps-promote-repurposing-electric-vehicle-ev-batteries>.

Figura: Cuatro pasos para la reutilización de baterías



PASO 1: Evaluar el estado de salud de la batería

Para evaluar la viabilidad de un VE para su reutilización es necesario realizar una evaluación exhaustiva del estado de salud de la batería. Si es posible, la información útil (distancia recorrida, antigüedad, tasas de carga y descarga o estado de salud) puede medirse durante la primera vida útil de la batería, mientras aún se utiliza en el vehículo. Esta información es accesible en el sistema de gestión de la batería de un vehículo, pero esos sistemas pueden ser a menudo poco fiables. Otra opción emergente para acceder a esta información es una etiqueta digital o un pasaporte de batería. Una vez que la batería se retira del vehículo, las empresas de reutilización pueden tener dificultades para acceder a esta información. En este caso, tendrían que probar la batería, normalmente mediante pruebas de capacidad y resistencia interna, lo que se denomina ciclado. Este proceso de ciclado puede durar hasta dos días y requiere técnicos cualificados que controlen la carga y descarga completas de la batería.¹⁰

Descargar una batería es el proceso de vaciar intencionadamente la batería para poder trabajar en ella. Debido a la variedad de diseños de las baterías de los VE, cada batería tiene unas directrices específicas del fabricante sobre cómo descargar la batería de forma segura y correcta. Además, debido a esta variedad, el proceso es muy difícil de automatizar y el desmontaje debe hacerse a mano. Para descargar la batería, el técnico debe conocer su estado de salud, capacidad, estado de carga, tensión permitida y rango de corriente. Este proceso entraña riesgos eléctricos, térmicos, químicos y cinéticos.¹¹

PASO 2: Evaluar la viabilidad de la batería para una segunda vida útil

Una vez comprobadas las características clave de la batería, puede determinarse su viabilidad para la reutilización. Características como la capacidad de la batería, la potencia máxima, el peso, el volumen, el sistema de gestión de la energía (EMS), la gestión térmica y las posibles configuraciones de la batería se tienen en cuenta a la hora de determinar la mejor manera de reutilizar la batería para una segunda vida. Por ejemplo, para obtener una mayor capacidad de la batería con celdas de segunda vida, habría que instalar más celdas, lo que se traduciría en una batería de mayor peso. Este peso extra tendría implicaciones para un dispositivo móvil o un vehículo, pero no importaría para un producto estacionario.¹²

También hay consideraciones de costo a la hora de determinar la viabilidad de la reutilización y qué configuración se adaptaría mejor a la batería. Por ejemplo, las configuraciones que implican más desmontaje tienen costos más elevados. Esto se debe al tiempo y la energía necesarios para desmontar la batería, así como al costo del nuevo equipo (conectores, carcasa, etc.). Para los servicios de red, también hay costos asociados a la instalación de un sistema de almacenamiento de energía en batería (BESS).

¹⁰ Montes, T., Maite Etxandi-Santolaya, Eichman, J., Victor José Ferreira, Lluís Trilla, & Corchero, C. 2022. Procedure for Assessing the Suitability of Battery Second Life Applications after EV First Life. *Batteries*, 8(9), 122–122. <https://doi.org/10.3390/batteries8090122>.

¹¹ Nembhard, N. (n.d.). Safe, Sustainable Discharge of Electric Vehicle Batteries as a Pre-treatment Step to Step to Crushing in the Recycling Process. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:133943/FULLTEXT01.pdf>.

¹² (Montes et al. 2022).

PASO 3: Decidir una configuración

13 Ibid.

Apilamiento de baterías

El apilamiento de baterías requiere el mínimo desmontaje, ya que utiliza baterías enteras que se conectan en paralelo para crear la batería de segunda vida final. Los paquetes de baterías deben tener características similares, ya que el rendimiento de la batería de segunda vida se verá afectado por los módulos y celdas de peor rendimiento. Para tener en cuenta los flujos de corriente inesperados entre baterías, a menudo se añade un convertidor de potencia a la batería, que puede resultar caro. Esto coste puede aumentar si el sistema de gestión de baterías (BMS) no puede comunicarse con el convertidor de potencia y los fabricantes tienen que crear una pasarela. La configuración de paquetes de baterías apilables funciona mejor cuando se necesita una batería de gran capacidad, como en el caso de los servicios de red.¹³

14 Ibid.

Renovación de módulos de baterías

Si las celdas de un pack de baterías se dividen en módulos, estos módulos pueden reacondicionarse y reconfigurarse en una batería de segunda vida. El pack de baterías debe desmontarse en módulos, cuyo rendimiento se comprueba y se combinan en un nuevo pack de baterías. Los módulos deben tener características similares. También es necesario modificar el sistema de gestión térmica. Las baterías modulares son más sencillas de reparar porque los módulos se pueden intercambiar, pero puede resultar difícil conseguir componentes para su reparación y mantenimiento. Además, estas baterías de segunda vida pueden ser más fiables porque los módulos con un rendimiento deficiente pueden retirarse antes de crear la nueva batería. Sin embargo, la nueva batería sigue estando afectada por la célula de peor rendimiento. Esta configuración puede utilizarse para grandes demandas de energía, pero también es muy flexible en función de las necesidades energéticas de la configuración final.¹⁴

Renovación de celdas de batería

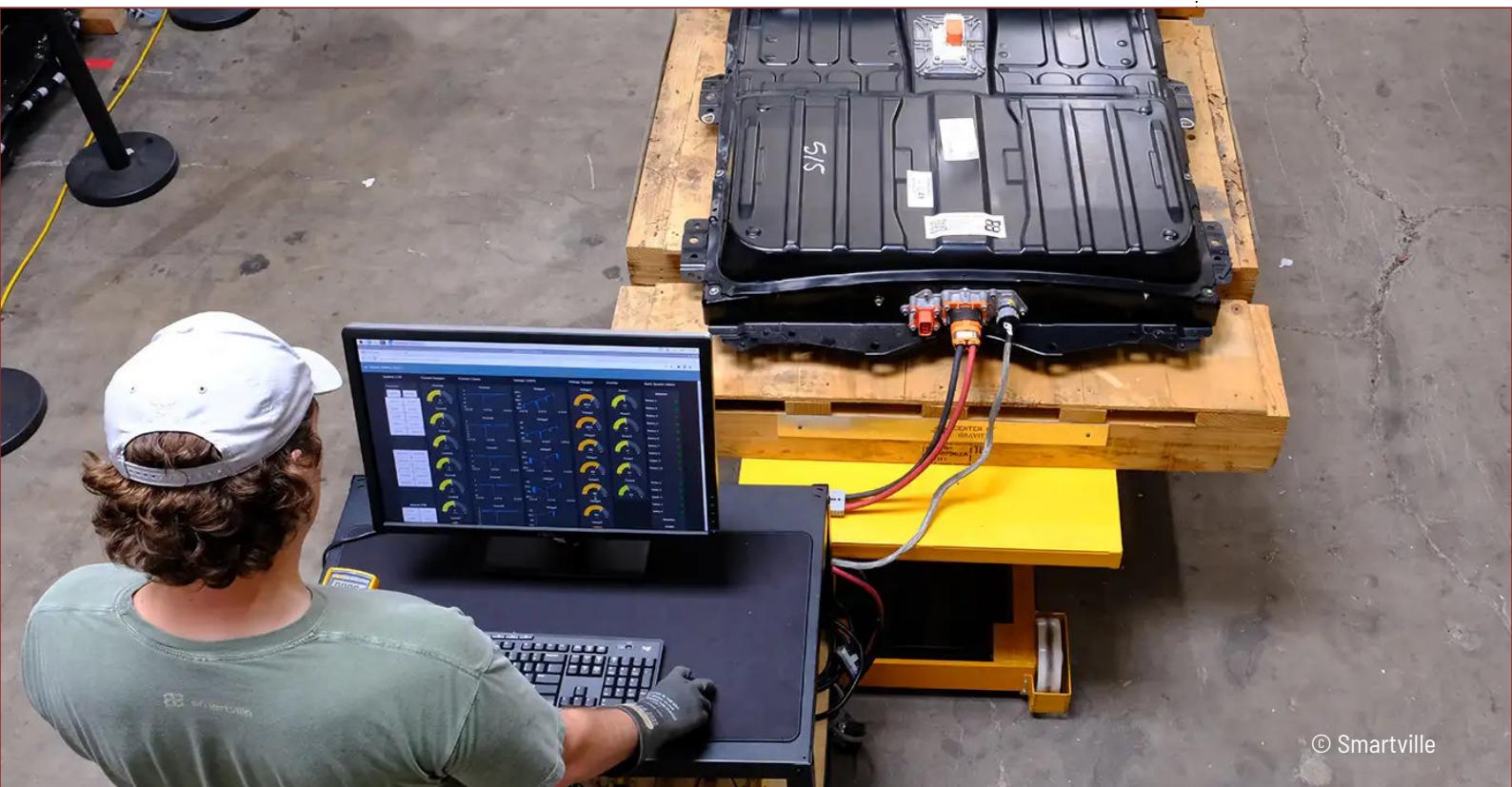
Para renovar las celdas de las baterías, es necesario desmontarlas hasta el nivel de celda. A continuación, las pilas se configuran en nuevos módulos y sistemas. Hay mucha flexibilidad en el tamaño de la configuración, lo que la hace útil para dispositivos electrónicos pequeños. Estos sistemas son más fiables porque se pueden seleccionar y utilizar las mejores células. Sin embargo, muchas celdas pueden dañarse durante el proceso de desmontaje, y se generan más residuos al dejar de utilizarse muchas partes de la batería.

PASO 4: Reensamblaje del conjunto de baterías en la nueva configuración

Hay que tener en cuenta muchas variables a la hora de reensamblar y apilar baterías para su uso en almacenamiento estacionario de energías renovables, como la solar o la eólica, mini redes que suministran energía a comunidades sin conexión a la red, así como para el almacenamiento de respaldo de la red eléctrica.

Las baterías usadas suelen apilarse en un conjunto y alojarse en estructuras similares a contenedores de transporte para su almacenamiento estacionario. El reto es que las baterías pueden ser de diferentes marcas, modelos de coche, edades y estado de degradación. Todos los tipos de baterías deben funcionar en secuencia para que las más antiguas no ralenticen todo el sistema. Junto con el controlador se utiliza un software que controla todas las variables de las baterías durante los ciclos de carga y descarga. El software permite a las baterías reutilizadas obtener rendimientos energéticos eficientes a pesar de la variación de capacidad inherente a las baterías. Algunos reutilizadores colaboran con fabricantes de coches para que su sistema de almacenamiento se diseñe en función de formas, tamaños y dimensiones específicas para crear un sistema "plug and play".

Empresas emergentes como Smartville están desarrollando software, hardware y herramientas de diagnóstico propias para el uso de baterías reutilizadas en aplicaciones de almacenamiento estacionario para empresas y clientes de servicios públicos.



© Smartville

Retos y recomendaciones

La reutilización de las baterías de los vehículos eléctricos presenta múltiples retos y oportunidades para mejorar la accesibilidad, la seguridad y la viabilidad:

Normalización: Al tratarse de un sector relativamente nuevo, existe una falta de normalización en las políticas y procesos. Por ejemplo, las políticas relativas a la garantía, los seguros, la propiedad de las baterías, el acceso a los datos de las baterías y los permisos son a menudo poco claras, inexistentes o difíciles de encontrar. Además, no existe un proceso estándar para reutilizar las baterías de los VE. Aunque existen unos pasos generales, los procesos específicos varían en función del tipo de batería, el acceso al software propietario, la configuración y la aplicación. Tampoco existe un proceso estandarizado para decidir cuándo reutilizar o reciclar las pilas.

Diseñar para el desmontaje: El desmontaje puede ser muy difícil debido a los fuertes adhesivos, las herramientas específicas y los diseños complicados. Además, algunas baterías no están organizadas en módulos, lo que dificulta su reutilización. Mediante un diseño intencionado para el fácil desmontaje, el proceso puede ser más rápido, seguro y accesible (más información en la hoja informativa de [GAIA: Desmontaje de baterías de vehículos eléctricos](#)).

Acceso universal y equitativo al estado de salud de la batería y a la información relacionada: El acceso a información fiable y precisa sobre el estado de salud de la batería mientras está en el vehículo y después de su extracción es fundamental para su reutilización. Los sistemas de gestión de baterías a bordo de los vehículos deben cumplir requisitos de precisión y fiabilidad más estrictos, y deben estandarizarse técnicas adicionales para que las pruebas de las baterías retiradas de un vehículo sean más rápidas, fiables y asequibles.

Seguridad: Actualmente es difícil encontrar información de seguridad para procesos específicos, como la descarga de la batería, el desmontaje y la realización de pruebas específicas de la batería. La necesidad de un centro de información con directrices de seguridad claras para todos los pasos del proceso de reutilización es especialmente cierta en zonas con escasez de energía, donde quienes trabajan en la reutilización de baterías de VE pueden no tener acceso a la certificación UL 1974.

Competencia por la chatarra de baterías: Tanto la chatarra de producción como las baterías postconsumo tienen demanda para su reparación, reutilización y reciclaje. Esta competencia con las empresas de reciclaje por la materia prima de desecho puede obstaculizar económicamente las prácticas de reutilización de baterías, especialmente cuando las empresas de reciclaje a gran escala tienen fuerza de capital y asociaciones con fabricantes de baterías y fabricantes de automóviles. El apoyo normativo y los incentivos a las aplicaciones de segunda vida de las baterías pueden resolver eficazmente estos problemas.

Los derechos de autor como reto: Al igual que ocurre con la reparación de baterías, las leyes sobre derechos de autor pueden suponer un obstáculo para la reutilización de baterías cuando los fabricantes de equipos originales utilizan hardware y software de sistemas de gestión de baterías patentados. El acceso al estado de salud de una batería y a otra información es un elemento crucial para las aplicaciones de segunda vida de las baterías.

Agradecimientos

- Autor(es): Daniella Lumkong y Sheila Davis
- Redactores: Lien De Brouckere, Erica Jung y Doun Moon
- Diseño: Doun Moon
- Revisores: Claire Arkin

Consulte la serie de hojas informativas sobre baterías de GAIA en: www.no-burn.org/battery_infosheets