

RE-USO DE LAS LIB'S PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Gestión, recuperación y reutilización de baterías de Ion-
Li de movilidad eléctrica



CIDEMAT

Centro de Investigación, Innovación y
Desarrollo de Materiales



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

RE-USO DE LAS LIB'S PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Gestión, recuperación y reutilización de baterías de Ion-Li de
movilidad eléctrica

RE-USO DE LAS LIB'S PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

**Universidad de Antioquia,
Vicerrectoría de Investigación**

**Primera edición
Universidad de Antioquia**

**Rector
Héctor Iván García García**

**Centro de Investigación Innovación y
Desarrollo de Materiales -
CIDEMAT**

**Vicerrectoría de Investigación
Claudia Marcela Vélez**

**Recepción de correspondencia: Calle
70 No. 52-21 / Apartado Aéreo 1226
/ Dirección: Sede de Investigación
Universitaria (SIU) Calle 62 # 52 -
59, La Candelaria, Medellín,
Antioquia.**

**Directora Sede de Investigación
Universitaria (SIU)
Gloria Marleny Valencia
Bustamante**

Teléfono: 6042196617

**Coordinador Grupo de Investigación
CIDEMAT
Félix Echeverría Echeverría**

**Corrección de estilo:
Universidad de Antioquia**

**Autores
Jorge Andrés Calderón Gutiérrez
Jessica Alejandra Manco
Nerly Liliana Mosquera Mosquera**

**Hecho en Medellín, Colombia. La
publicación se realiza en
cumplimiento al proyecto “
Desarrollo de ensambles de baterías a
partir de nuevos materiales y baterías
reutilizadas para almacenamiento de
un sistema solar fotovoltaico”, CT.
2023 - 0685 en el marco de la
convocatoria: 890-2020, para el
fortalecimiento de CTeI en inst. de
educación superior públicas
mecanismo 2.**

**Todos los derechos reservados.
© Universidad de Antioquia**

Introducción

En las últimas décadas la demanda de energía a nivel mundial ha ido aumentando. Actualmente el consumo de energía total de la humanidad es aproximadamente de 14 TW y se espera que se triplique para el año 2050 [1]. Es por este último dato que toma interés la diversificación de sistema de generación y almacenamiento de energía que tengan la capacidad de suplir las necesidades. Actualmente las baterías de ion-litio dominan el mercado de la energía recargable, debido a que cubren una amplia variedad de aplicaciones, principalmente en movilidad eléctrica. Por ende, se considera un ítem importante en el proceso de transición y sostenibilidad energética a nivel nacional.

Una batería de ion-litio está conformada por módulos, estos a su vez están conformados por celdas las cuales van ensambladas en una carcasa. Adicionalmente cuenta con un sistema electrónico de gestión de las baterías (BMS, por su siglas en inglés) que se encarga de administrar y controlar los voltajes y las corrientes durante la carga y descarga de las celdas [2]. Los módulos de baterías en un vehículo eléctrico están conformados en promedio por 5000 celdas cilíndricas tipo 18650 y la vida útil oscila entre 5 a 10 años, reteniendo el 80% de la capacidad inicial (celda nueva). Teniendo en cuenta el mercado actual de vehículos eléctricos, la proyección de crecimiento y que en promedio cada 7 años es necesario renovar la batería de un vehículo eléctrico, se prevé que en la próxima década los desechos provenientes de baterías ion-litio y el potencial uso de los respectivos materiales de desecho sea de bastante interés, tanto a nivel nacional en el sector comercial, económico y ambiental, ya que los componentes de baterías recargables son generalmente tóxicos, costosos y requieren de procesos de extracción y procesamiento altamente contaminantes.

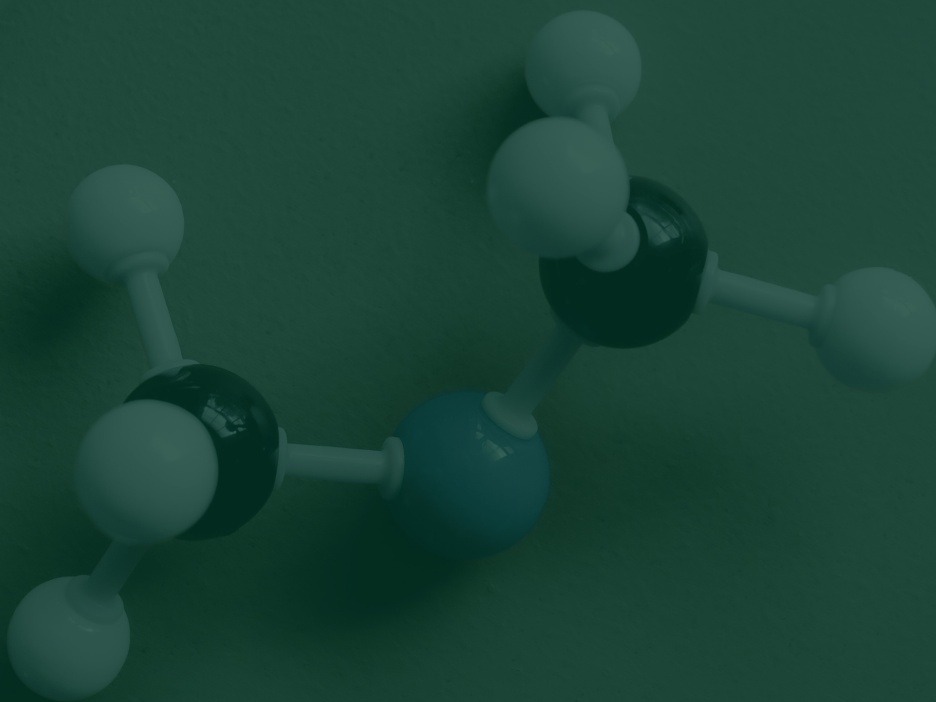
Este panorama motivó a buscar estrategias para repotencializar las formas de recuperación y conversión de la materia prima y con ello, estudiar los procesos de obtención del cátodo mediante la síntesis y desarrollo de materiales activos de segunda vida, a partir de la materia prima residual del electrodo de las baterías de ion-litio. Con ello, diseñar prototipos de baterías de ion-litio a partir de fuente reusadas como sistemas de almacenamiento para aplicaciones de generación de energía fotovoltaica.

[1] Larcher, D. Tarascon J (2015) Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. Nat Chem 7:19–29. <https://doi.org/10.1038/nchem.2085>

[2] Tong SJ, Same A, Kootstra MA, Park JW (2013) Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: An experimental and numerical investigation. Appl Energy 104:740–750. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.046>

CAPÍTULO 1

Generalidades,
estructura,
composición química y
ventajas



Generalidades

Las baterías de ion litio (LIB) son sistemas de almacenamiento electroquímico de energía. Funciona a través de procesos de intercalación/desintercalación de los iones de litio durante la carga/descarga. Se ha consolidado como una de las tecnologías más prometedoras, debido a su alta densidad de energía, buena eficiencia coulombica y prolongada vida en ciclado [3].

Todos las celdas ion-litio comparten la misma configuración básica :

Ánodo (electrodo negativo): En la descarga, libera electrones y permite la salida de iones de litio hacia el electrolito.



Separador: Membrana que separa físicamente el ánodo del cátodo para evitar cortocircuitos, pero que permite el paso de los iones.

Cátodo (electrodo positivo): Durante la descarga, recibe los electrones y aloja los iones de litio que migran a través del electrolito.



Electrolito: Medio que permite que los iones de litio se muevan entre el ánodo y el cátodo.

[3] Johnson, N. M. (2014). Battery technology for CO2 reduction. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation, 582–631

Configuración de Baterías

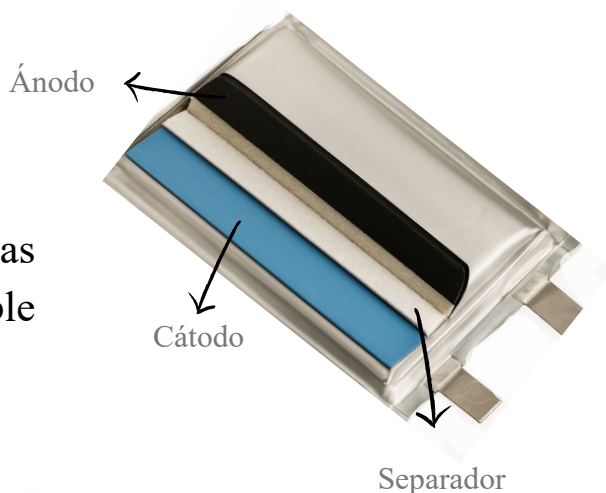
La conformación de una batería consta de **celdas individuales** que se agrupan en configuraciones específicas (en serie, en paralelo o en una combinación de ambas) para conformar módulos, y la integración de varios módulos da origen a los sistemas de mayor escala conocidos como baterías o packs. Esta arquitectura jerárquica permite ajustar la tensión, la capacidad y la potencia del sistema de acuerdo con los requerimientos de cada aplicación

Tipo de Celdas



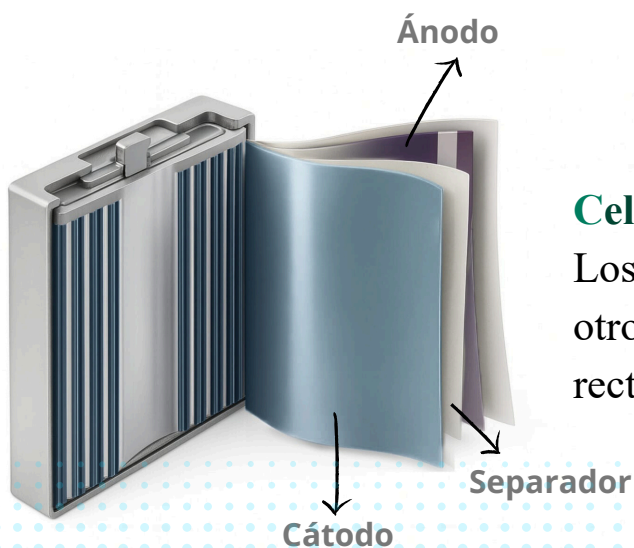
Celdas Cilíndricas

Los electrodos son láminas largas que se enrollan en espiral y se introducen en una lata metálica.



Celdas Pouch

Los electrodos se apilan en capas y se alojan en una bolsa flexible de aluminio.



Celdas prismáticas

Los electrodos se colocan uno sobre otro y se alojan en una carcasa rígida rectangular.

Química

La denominación de las baterías de ion litio (LIBs), suele basarse en el material de cátodo empleado.

Las principales químicas actualmente son LiCoO_2 (LCO), LiMn_2O_4 (LMO), LiFePO_4 (LFP), LiNiCoAlO_2 (NCA) y LiNiMnCoO_2 (NMC), cada una con características diferenciadoras [4].

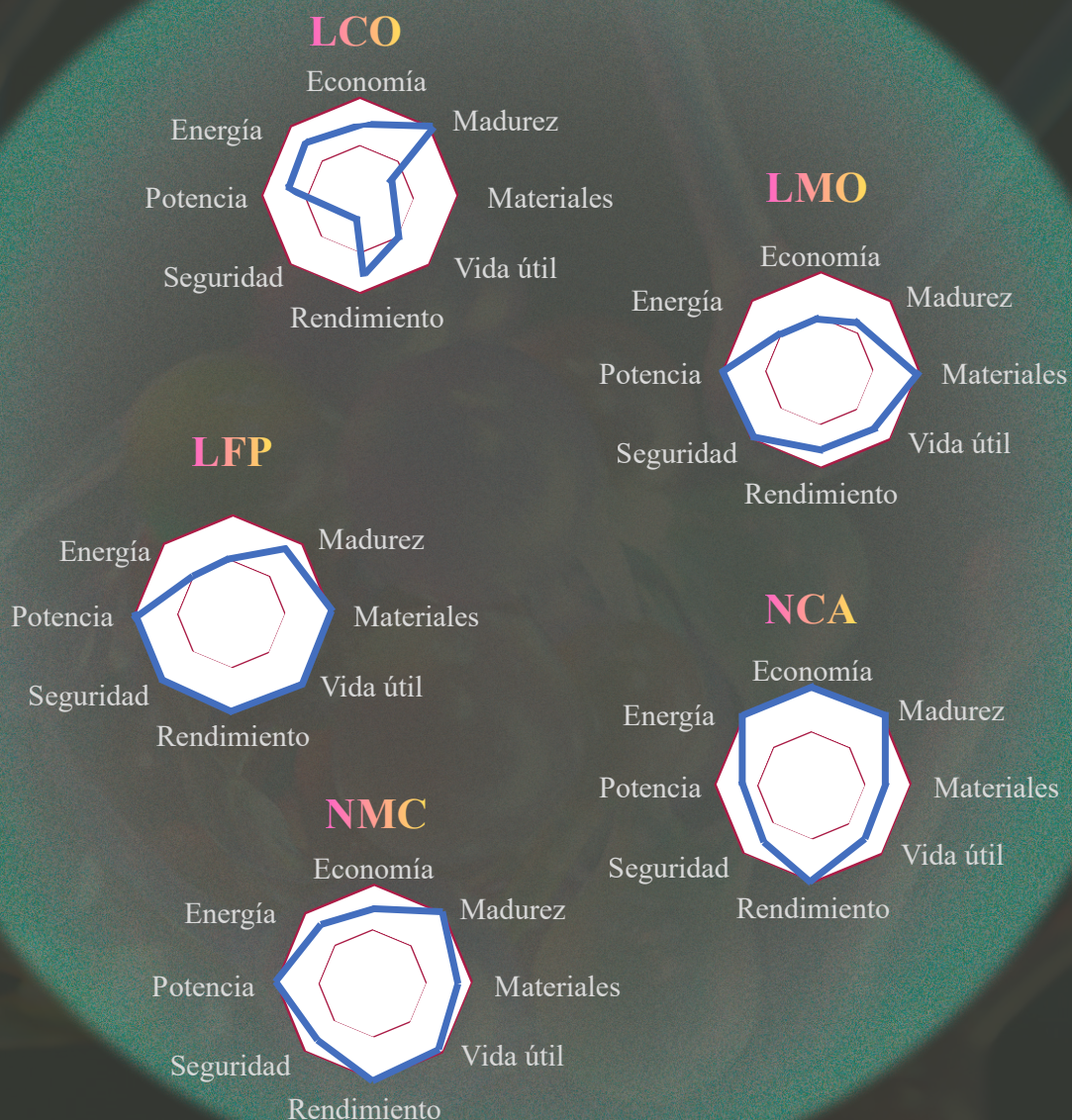


Figura 1. Características de cada química de las LIBs [4]

[4] Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 89, 292–308. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.002>

Es la disposición atómica específica y ordenada de los materiales de cátodos.

En conjunto con la composición química, la estructura otorga diferentes características a cada celda.

Estructuras cristalinas

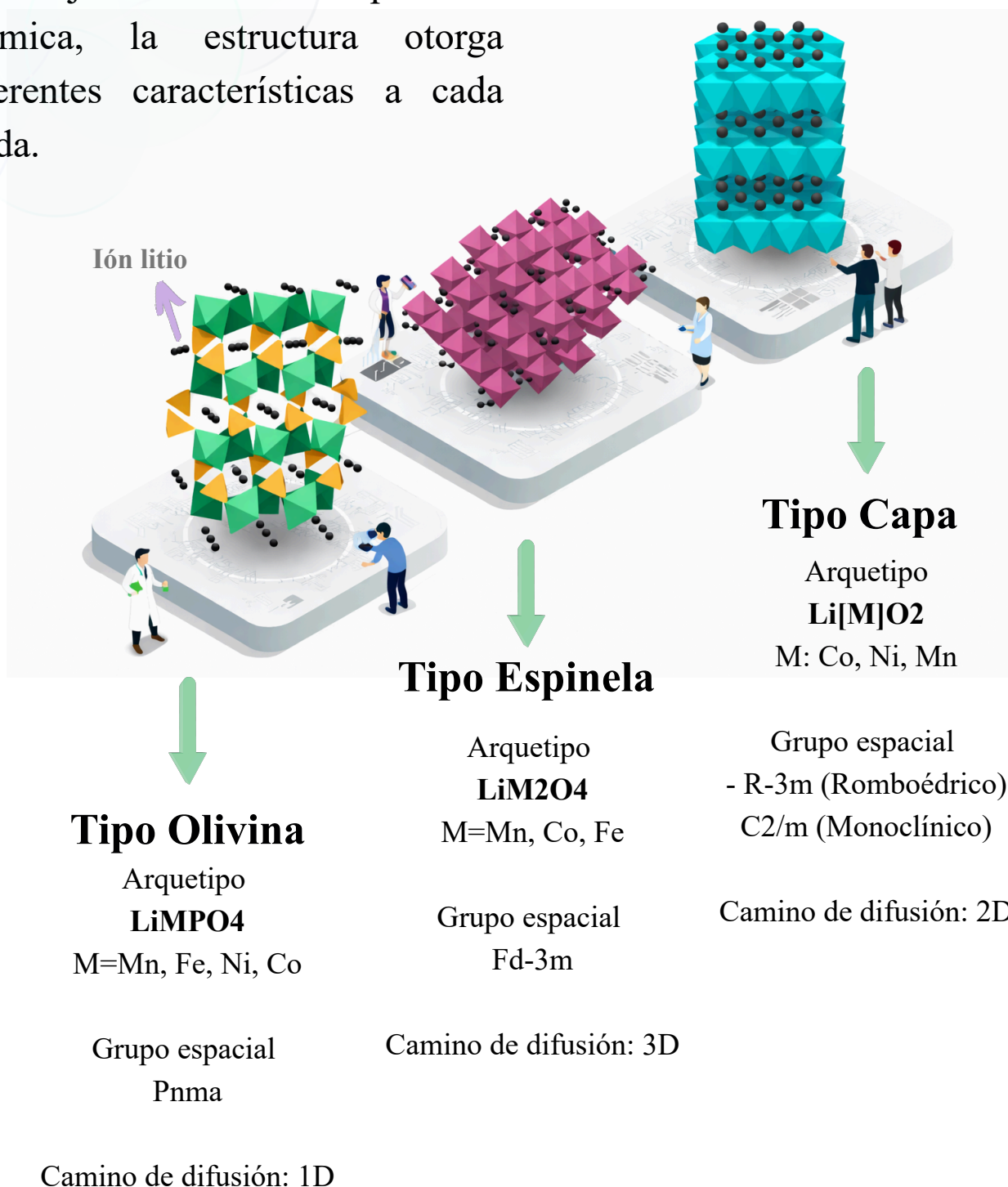


Figura 2. Características de cada estructura cristalina [5]

[5] LG Energy Solution. Estructuras de los materiales del cátodo - BATTERY INSIDE. (n.d.). <https://inside.lgensol.com/en/2024/01/infographics-14-about-the-structures-of-cathode-materials/>

Aplicaciones de las LIB's

Electrónica de consumo
celulares, laptops y tablets.



Movilidad eléctrica
Autos, motos, buses y bicicletas eléctricas.



Almacenamiento estacionario de energía

Almacenan energía de fuentes renovables (como solar y eólica) para su uso posterior.



Aplicaciones medicas

Dispositivos médicos portátiles y equipos implantables o semi-implantables.



Otras aplicaciones:

- Sector aeroespacial y aeronáutica
- Sistemas de energía de respaldo (UPS)
- Otros

Ventajas de las LIB's



Versatilidad de aplicaciones

Alta densidad energética

Ausencia de efecto memoria



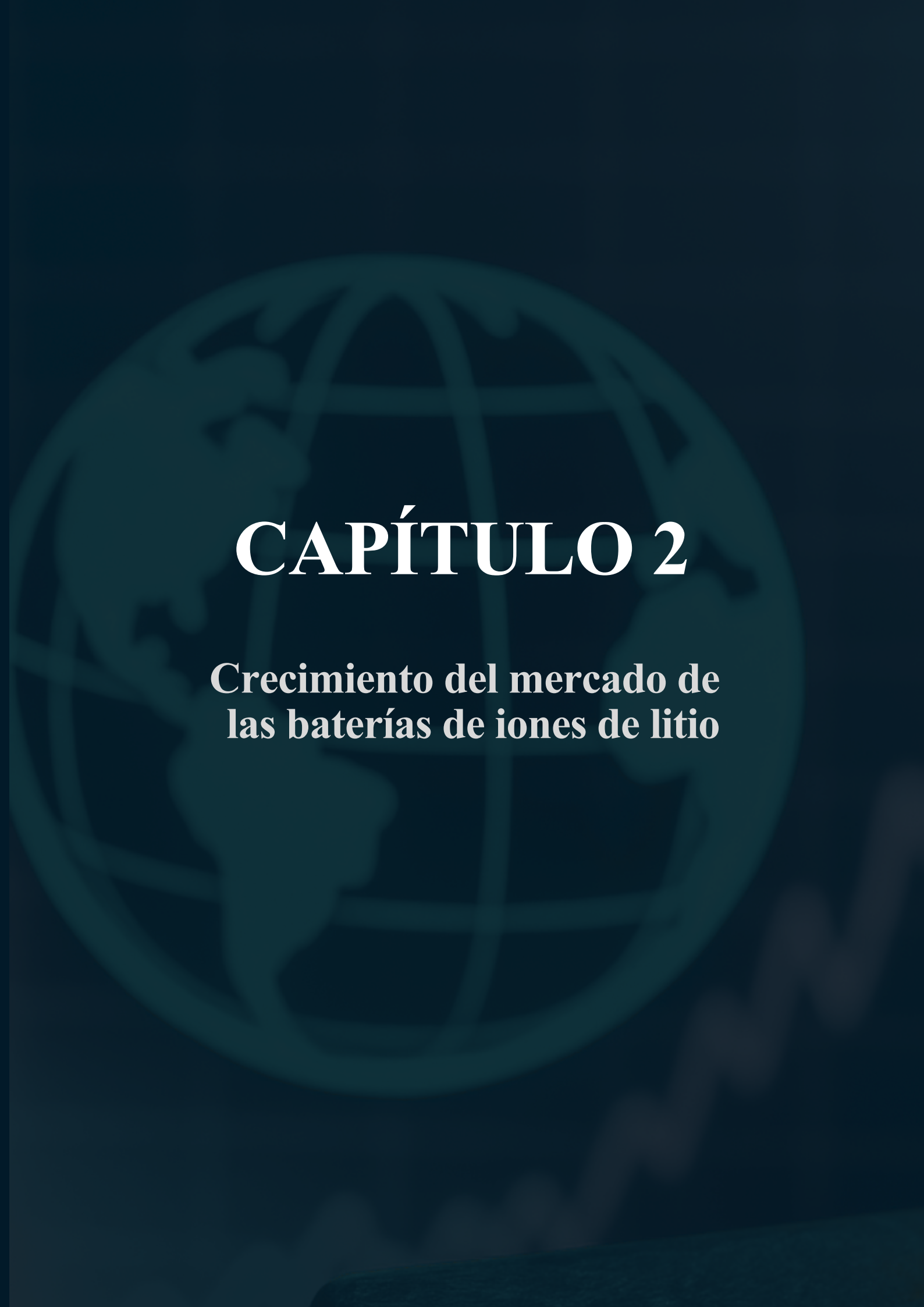
Carga rápida



Larga vida útil

Baja autodescarga

Alta densidad de potencia



CAPÍTULO 2

**Crecimiento del mercado de
las baterías de iones de litio**

Mercado global de las LIB: Movilidad Eléctrica

Las baterías de ion litio, destacan por su creciente demanda en el ámbito de la movilidad eléctrica y almacenamiento de energía renovable. Principalmente, su uso en vehículos eléctricos (VE) y vehículo híbrido enchufable (PHEV) se debe a que combina portabilidad, elevada densidad energética, prolongada vida útil, alta capacidad gravimétrica y volumétrica. La alta densidad de energía de las LIB permite almacenar gran cantidad de energía en comparación de otras tecnologías (Plomo-Acido o Ni-cd), proporcionando gran autonomía en los vehículos [6].



Figura 3. Proyección de la demanda de baterías [6]

[6] Fundación Solon. ¿Cuál la situación de la fabricación de baterías de litio? (2021). <https://fundacionsolon.org/2021/08/12/cual-la-situacion-de-la-fabricacion-de-baterias-de-litio/>

Hoy el mercado de baterías de iones de litio está dominado por dos químicas: NMC por su autonomía y LFP por su costo y seguridad.

En movilidad eléctrica, los cátodos de LFP son más adecuados para vehículos de corto alcance como autobuses y automóviles (distancias de hasta 100km) y los cátodos de NCM, para aquellos de mediano y alto alcance (250km-500km) [7].



Figura 4. Demanda de cátodos NMC y LFP [7]

En almacenamiento estacionario, la LFP domina el mercado porque ofrece mayor seguridad térmica, y menor degradación en operación continua.

[7] Bnamericas. Las mayores tendencias en baterías de iones de litio (2019).
<https://www.bnamericas.com/es/reportajes/las-mayores-tendencias-en-baterias-de-iones-de-litio>

Movilidad eléctrica en Colombia



Para el 2022, Colombia ya se posicionaba como el tercer país en Latinoamérica y el Caribe en liderar las ventas de vehículos eléctricos [8].

Entre enero y octubre de 2025 se matricularon 14.456 unidades nuevas, lo que equivale a un crecimiento de 155,4% en comparación con el mismo periodo del año anterior [9].



[8] La República Co. Colombia ya superó el estimado de vehículos eléctricos que se comprarían en 2022. (2022). <https://www.larepublica.co/consumo/colombia-ya-supero-el-estimado-de-vehiculos-electricos-que-se-comprarian-en-2022-3439644>

[9] La República Co. La venta de vehículos eléctricos creció 93,7% en octubre y alcanzó su máximo histórico. (2025). <https://www.larepublica.co/empresas/venta-de-vehiculos-electricos-en-octubre-2025-4263710>



CAPÍTULO 3

Recolección, transporte y
almacenamiento al final de su
vida útil.

Recolección

La recolección segura de baterías de iones de litio (LiBs) al final de su vida útil debe gestionarse a través de un sistema de logística inversa y puntos de entrega específicos.

Principales empresas recolectoras en Colombia

Recobatt S.A.S.

Trabaja en la recolección y remanufactura de baterías de litio vehiculares, ofreciendo servicios a empresas y soluciones de segunda vida.

The logo for Recobatt, featuring the word "Recobatt" in a stylized font with a blue and green color scheme.

RAEE Colombia S.A.S

Busca dar una adecuada disposición y aprovechamiento a los residuos electrónicos, baterías y catalíticos.

Altero

Es pionera en el reciclaje sostenible de baterías de ion-litio en Colombia y Latinoamérica para la recuperación de sus componentes.

The logo for Altero, featuring a stylized blue triangle with a white dot inside, above the word "altero" in a lowercase, sans-serif font.

Transporte

Número ONU

UN 3480 (Baterías de iones de litio empaquetadas con equipo o solas).

UN 3481 (Baterías de iones de litio contenidas en equipo).

Requisitos clave

1. Terminales aisladas.
2. Embalaje exterior robusto.
3. Limitación de estado de carga (SOC) del 30%.
4. Etiqueta de mercancías peligrosas clase 9 y etiqueta adicional para baterías de litio.

Pruebas Obligatoria: UN 38.3

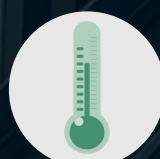
- Altitud simulada
- Choques térmicos
- Vibración
- Impacto
- Cortocircuito
- Sobre carga



Terminales aisladas



Sistema de ventilación



Temperatura:
15-25°C



Separación:
Evitar apilamiento en exceso



Clasificación:
Defectuosas / en buen estado



Protección contra incendios

Almacenamiento



Es indispensable la capacitación del personal que estará en contacto con estos artefactos.

CAPÍTULO 4

Destino post-consumo de
las LIB's



¿Qué pasa con los residuos de las LIB's?

Alternativa 1: Reciclaje



Los procesos de reciclaje usuales buscan recuperar a partir de procesos físico-químicos compuestos como el litio, cobalto, níquel, cobre, aluminio.

Alternativa 2: Segunda vida

Las baterías que ya no sirven para su uso original se reacondicionan y reutilizan en aplicaciones menos exigentes. En este proceso, CIDEMAT y la empresa Tronex, a través del CDB (Centro de Diagnóstico de Baterías), realizan la evaluación y diagnóstico integral de baterías recargables para almacenamiento estacionario y movilidad eléctrica.

Alternativa 3: Desecho

Se realiza en sitios especializados que garantizan una buena gestión de residuos integrando sistemas de recolección y gestión.



Las estrategias actuales no dan abasto y no se encargan de químicas de alta demanda como la LFP.

Desarrollo de nuevos materiales catódicos a partir de residuos de baterías LFP

Debido a la alta demanda que han venido presentando las baterías LFP en el mercado y al escaso interés que genera su recuperación, desde el centro CIDEMAT se plantea una metodología para su reciclaje desde tres estrategias fundamentales:

1

Reciclaje mecánico

2

Mediana intervención

3

Máxima intervención

METODOLOGÍA

Reciclaje mecánico



Figura 5. Esquema ilustrativo mínima intervención.

Mediana intervención

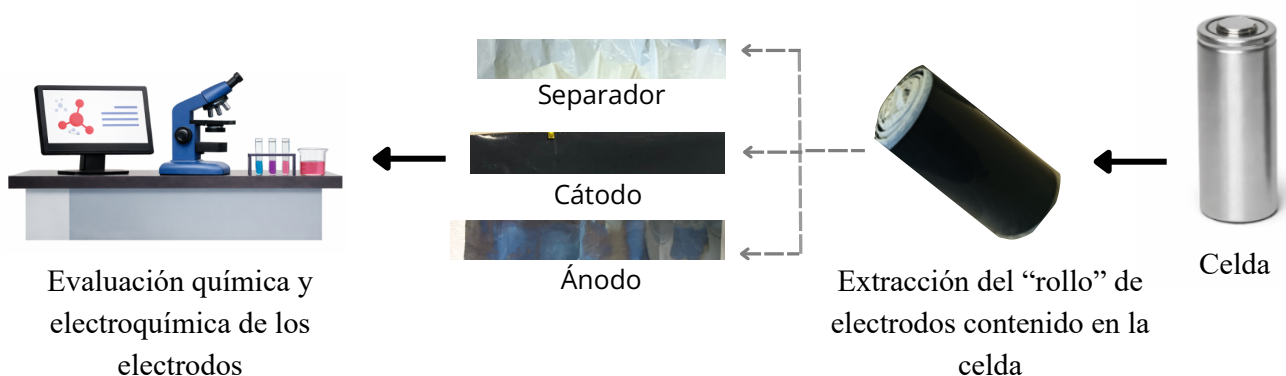


Figura 6. Esquema ilustrativo mediana intervención.

La mediana intervención busca evaluar de forma individual el ánodo y el cátodo de celdas obtenidas por reciclaje mecánico, seleccionando específicamente aquellas que no cumplen los requisitos para aplicaciones de segunda vida.

METODOLOGÍA

Máxima intervención

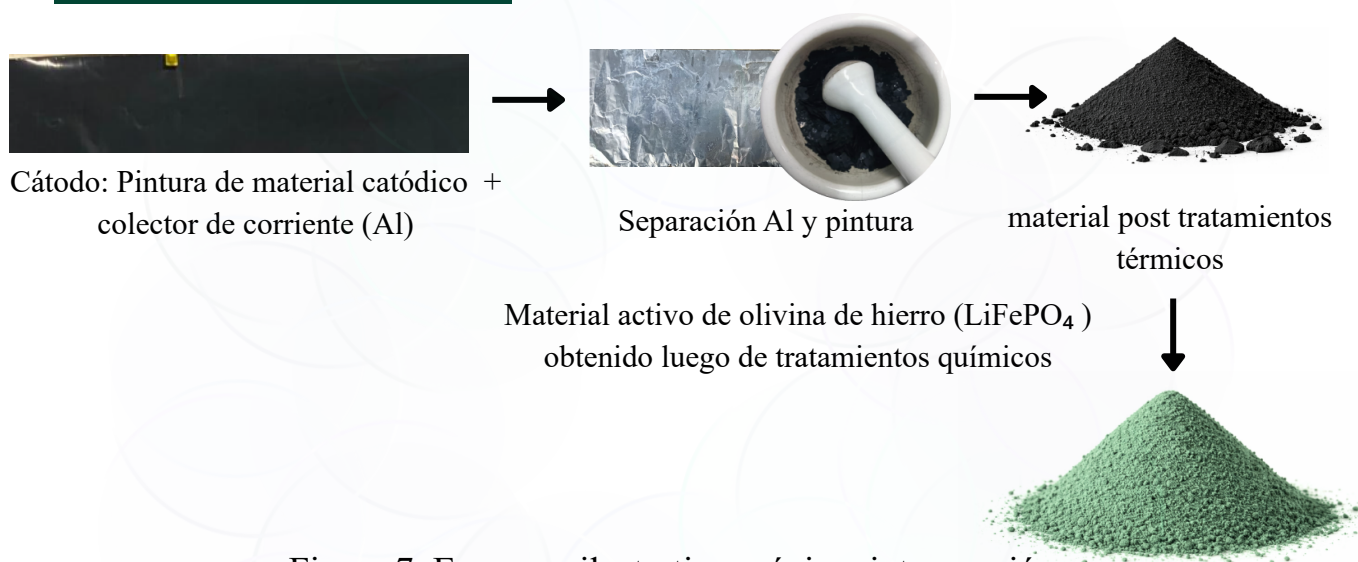


Figura 7. Esquema ilustrativo máxima intervención.
Elaboración propia.

La máxima intervención busca desarrollar nuevos electrodos de cátodo LiFePO_4 mediante la resíntesis de olivina de hierro como material activo base, a partir de cátodos LFP provenientes de celdas que han llegado al final de su vida útil. Este proceso se realiza mediante la aplicación de técnicas químicas innovadoras y altamente eficientes.

El objetivo final es desarrollar nuevas baterías 18650 a partir de materia prima reciclada y reutilizada.



CAPÍTULO 5

Baterías de segunda vida como sistemas de almacenamiento para aplicaciones fotovoltaicas.



¿Qué es un sistema fotovoltaico?

Un sistema solar fotovoltaico está conformado por varios componentes esenciales que permiten captar, transformar, almacenar y distribuir la energía solar.

Componentes de un sistema fotovoltaico

- **Paneles solares (módulos fotovoltaicos)**



Transforman la radiación solar en electricidad en forma de corriente continua (DC).

- **Inversor**



Convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC),

- **Batería (opcional)**



Almacenan la energía producida para usarla cuando no hay sol.

- **Medidor bidireccional (en sistemas conectados a red)**



Mide la energía eléctrica que el sistema fotovoltaico consume de la red y la que inyecta a ella.

- **Controlador de carga**



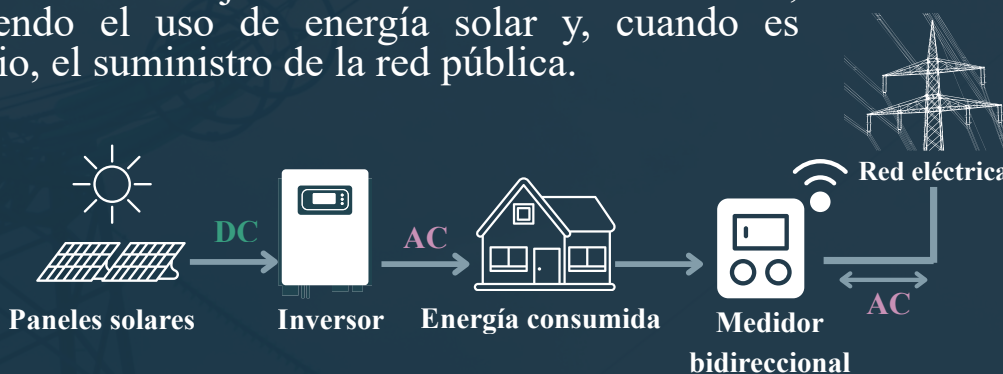
Regula la energía proveniente de los paneles solares para cargar las baterías de forma segura y eficiente,

- **Componentes mecánicos**
- **Componentes eléctricos**
- **Sistema de monitoreo (opcional)**

Tipos de sistemas fotovoltaicos

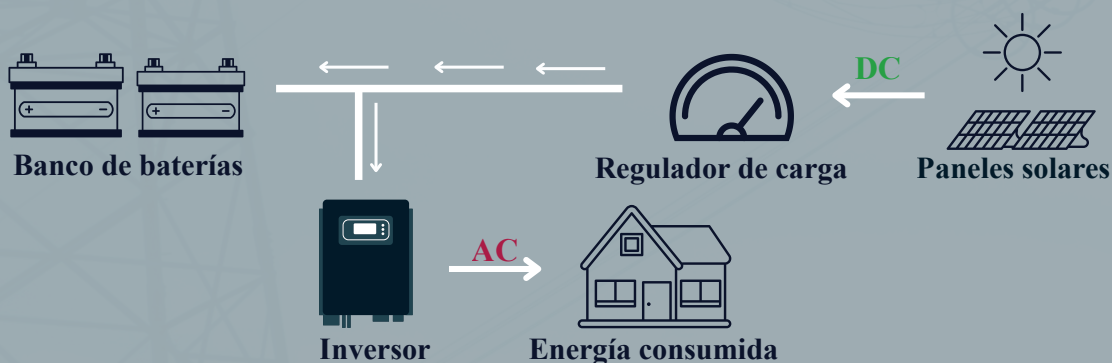
On-grid (conectado a la red):

Funciona en conjunto con la red eléctrica, permitiendo el uso de energía solar y, cuando es necesario, el suministro de la red pública.



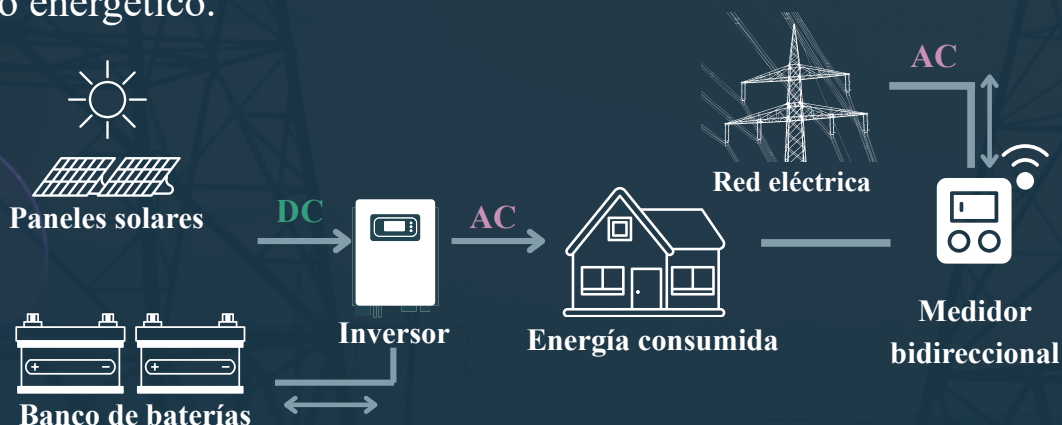
Off-grid (aislados):

No está conectado a la red eléctrica y requiere baterías para almacenar la energía.



Híbrido:

Combina ambas opciones, estando conectado a la red eléctrica pero con baterías para almacenamiento, ofreciendo mayor autonomía y respaldo energético.



Situación energética en Colombia

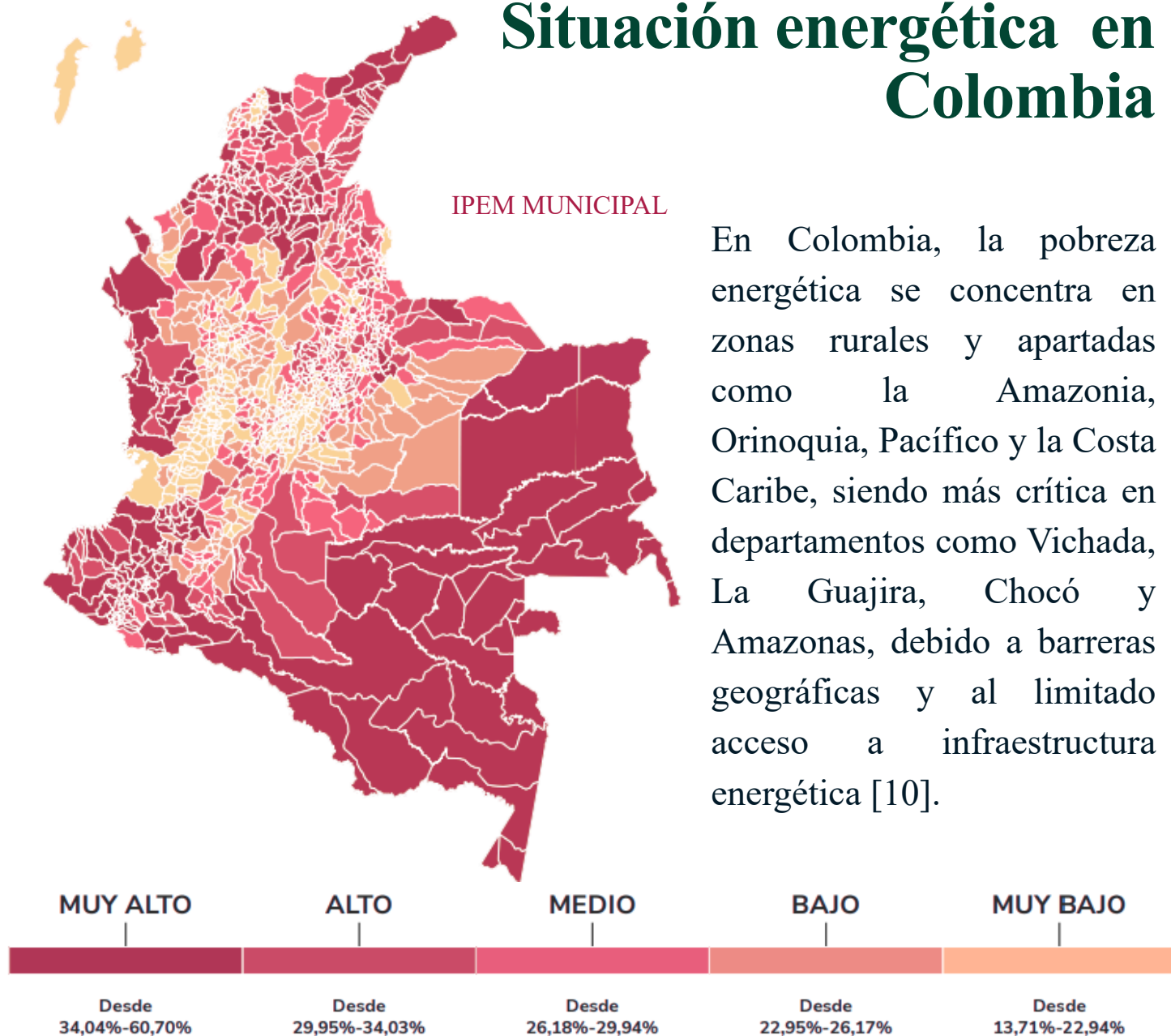


Figura 8. IPEM: pobreza energética multidimensional municipal [10]

En Colombia es urgente atender la pobreza energética en zonas rurales y apartadas. La Ley 1715 de 2014 destaca las FNCER como alternativas sostenibles aún poco aprovechadas, como la energía solar, eólica, biomasa, PCH, geotérmica y nuevas fuentes como el hidrógeno verde y azul [11].

[10] Ministerio de minas y energía. Informe sobre pobreza energética multidimensional en Colombia 2022-2023. (2023).

[11] Ministerio de minas y energía. Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER
<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable->

Implementación de los sistemas fotovoltaicos en Colombia

Los sistemas fotovoltaicos son indudablemente una solución prometedora dado el alto potencial solar del territorio colombiano.

Especialmente los sistemas híbridos son favorables, ya que permiten combinar generación solar, almacenamiento y respaldo de la red.

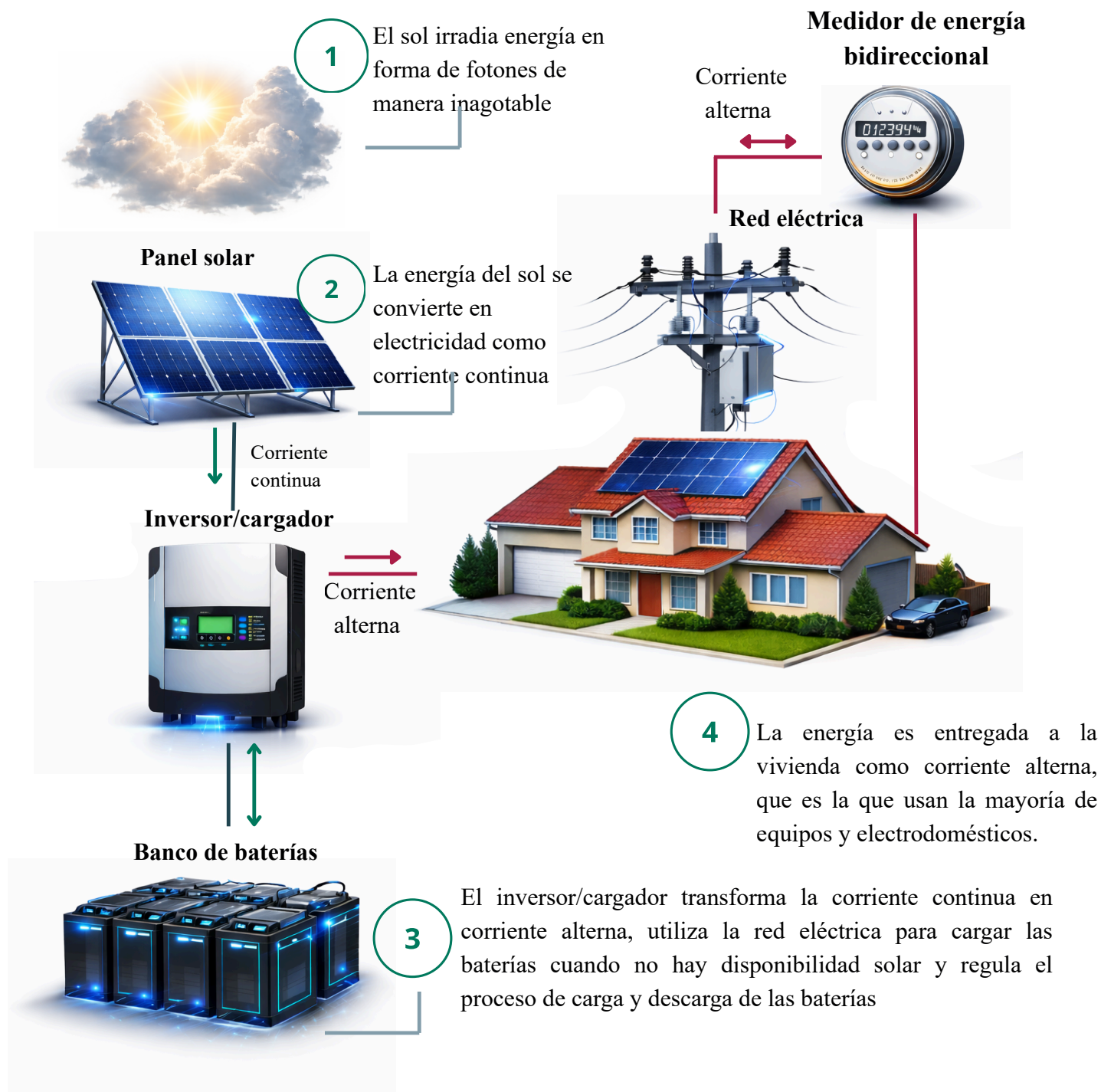


Figura 9. esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico híbrido.

PLAN DE ACCIÓN GLOBAL

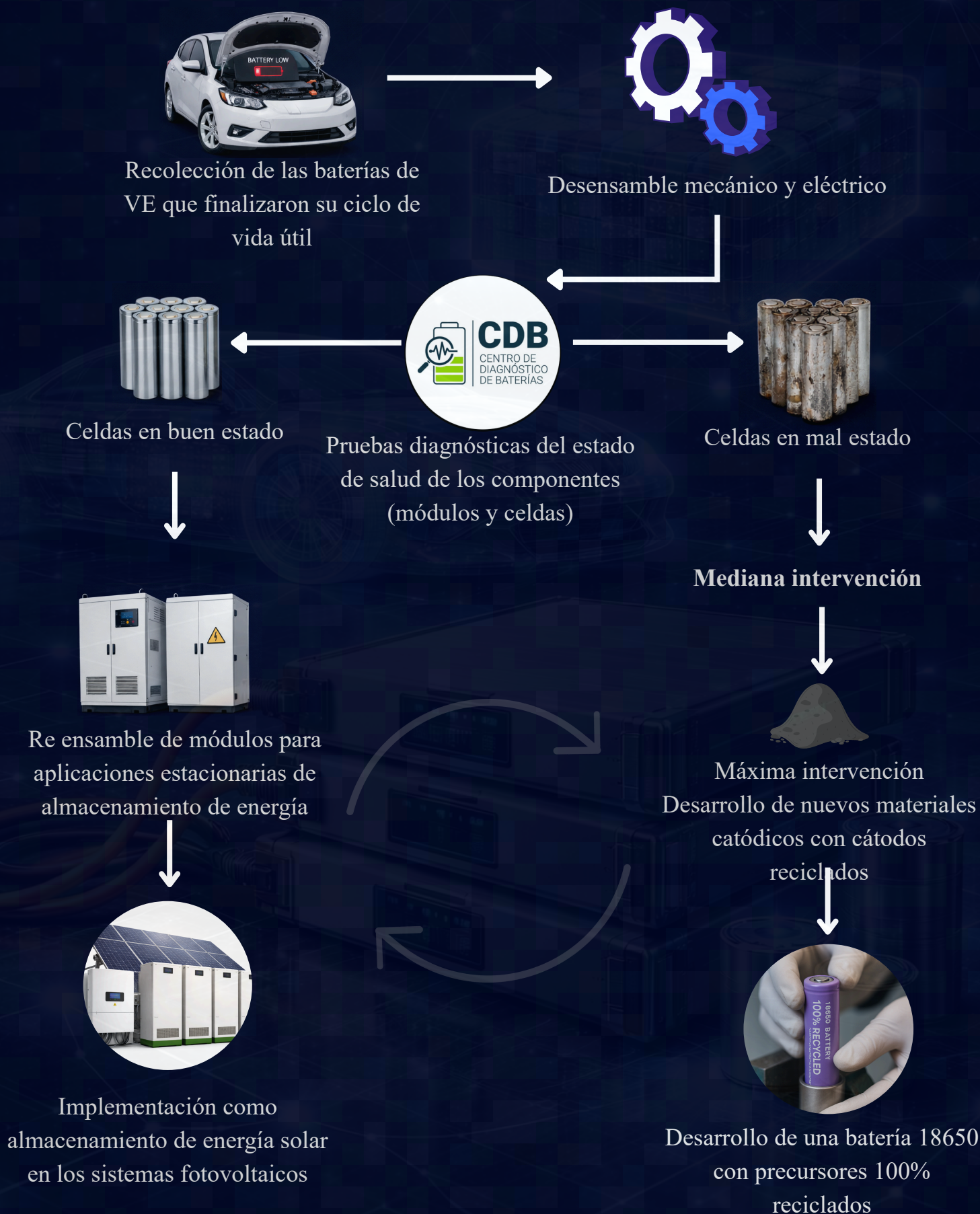


Figura 10. Esquema del plan de acción para el re uso de las LIBs.

Elaboración propia.

Referencias

- [1] Larcher, D. Tarascon J (2015) Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. Nat Chem 7:19–29. <https://doi.org/10.1038/nchem.2085>
- [2] Tong SJ, Same A, Kootstra MA, Park JW (2013) Off-grid photovoltaic vehicle charge using second life lithium batteries: An experimental and numerical investigation. Appl Energy 104:740–750. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.046>
- [3] Johnson, N. M. (2014). Battery technology for CO2 reduction. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance: Towards Zero Carbon Transportation, 582–631
- [4] Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 89, 292–308. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.03.002>
- [5] LG Energy Solution. Estructuras de los materiales del cátodo - BATTERY INSIDE. (n.d.). <https://inside.lgensol.com/en/2024/01/infographics-14-about-the-structures-of-cathode-materials>
- [6] Fundación Solon. ¿Cuál la situación de la fabricación de baterías de litio? (2021). <https://fundacionsolon.org/2021/08/12/cual-la-situacion-de-la-fabricacion-de-baterias-de-litio/>
- [7] Bnamericas. Las mayores tendencias en baterías de iones de litio (2019). <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/las-mayores-tendencias-en-baterias-de-iones-de-litio>
- [8] La República Co. Colombia ya superó el estimado de vehículos eléctricos que se comprarían en 2022. (2022). <https://www.larepublica.co/consumo/colombia-ya-supero-el-estimado-de-vehiculos-electricos-que-se-comprarian-en-2022-3439644>
- [9] La República Co. La venta de vehículos eléctricos creció 93,7% en octubre y alcanzó su máximo histórico. (2025). <https://www.larepublica.co/empresas/venta-de-vehiculos-electricos-en-octubre-2025-4263710>
- [10] Ministerio de minas y energía. Informe sobre pobreza energética multidimensional en Colombia 2022-2023. (2023).
- [11] Ministerio de minas y energía. Fuentes No Convencionales de Energía Renovable - FNCER <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable->



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

CIDEMAT

Centro de Investigación, Innovación y
Desarrollo de Materiales