

Seguir caminando con zapatos nuevos

De nuestro hallazgo se sigue la necesidad imperante de caminar experimentalmente el nuevo camino que encontramos. ¿Qué tal que la materia oscura se encuentre justo en ese camino y no en ningún otro de los ya previstos? La materia oscura puede estar allí, esperándonos.

Este método novedoso y exploratorio nos mostró que había oportunidades en el LHC que podríamos seguir explotando. De la mano de la incomodidad, y con la impresión intacta, encontramos, y les contamos a todos a través de un artículo publicado en una revista internacional, que hay formas de hallar la materia oscura en el LHC que nadie antes había realmente sospechado.

La incomodidad continúa y continuará, quién sabe por cuánto tiempo, hasta que probemos la real composición de la materia oscura. Seguiremos buscando, porque en eso consiste la tarea de investigar: en caminar aun con la incomodidad.

El grupo de investigación participa en otros experimentos, como el del solenoide compacto de muones —CMS, por sus siglas en inglés, *compact muon solenoid*—, uno de los ubicados en el LHC para buscar también materia oscura. **X**

Glosario

Acoplamiento: Fortaleza de la interacción entre diversos tipos de partículas.

Bosón vectorial: Partícula que media interacciones y que tiene preferencia por ocupar el mismo espacio que otras iguales a ella.

Modelo Estándar de Física de Partículas: Modelo que permite explicar la constitución de la materia y sus interacciones con los conocimientos teóricos y experimentales más actuales.

Modelos simplificados: Versiones simplificadas de modelos de nuevas partículas que sirven

como hoja de ruta para buscarlas en la naturaleza.

Topología de Fusión de Bosones Vectoriales: Proceso de la naturaleza en el cual se fusionan dos bosones vectoriales para producir otras partículas.

Este texto hace parte del proyecto «Búsquedas de materia oscura en el experimento CMS». Los autores que participaron en esta investigación son Santiago Duque Escobar, Daniel Ocampo Henao, José David Ruiz Álvarez y Jessica Velásquez Múnera. Este trabajo fue financiado por el fondo de Primer Proyecto del CODI y el fondo de Democratización del Conocimiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Antioquia.

Diagnosticar, empaquetar y reciclar la energía

Ferley Alejandro Vásquez Arroyave

Ph. D. en Ingeniería de Materiales
ferley.vasquez@udea.edu.co

Jorge Andrés Calderón Gutiérrez

Ph. D. en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales
andres.calderon@udea.edu.co

Grupo de investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales
CIDEMAT

En treinta minutos las baterías de ion-litio de un vehículo eléctrico pueden cargarse en un 80 % y darle una autonomía de 500 km. Los desarrollos en electromovilidad dependen de estos sistemas de almacenamiento de energía, que también soportan el funcionamiento de dispositivos de uso común, como los celulares y los computadores.

El impulso de una transición energética y la descarbonización del sector del transporte para mitigar los impactos del cambio climático hacen parte de un escenario que promueve cada vez más la investigación en este campo. Entre los retos que la ingeniería de las baterías debe superar se encuentran el de igualar los tiempos de carga de la batería con los rangos de tiempo de llenado de un tanque de gasolina de un vehículo de combustión (cinco minutos, aproximadamente), el de extender la vida útil hasta alcanzar tiempos superiores a treinta años y el de reducir su costo para hacer el vehículo eléctrico más accesible.

Capacidades científicas para la descarbonización

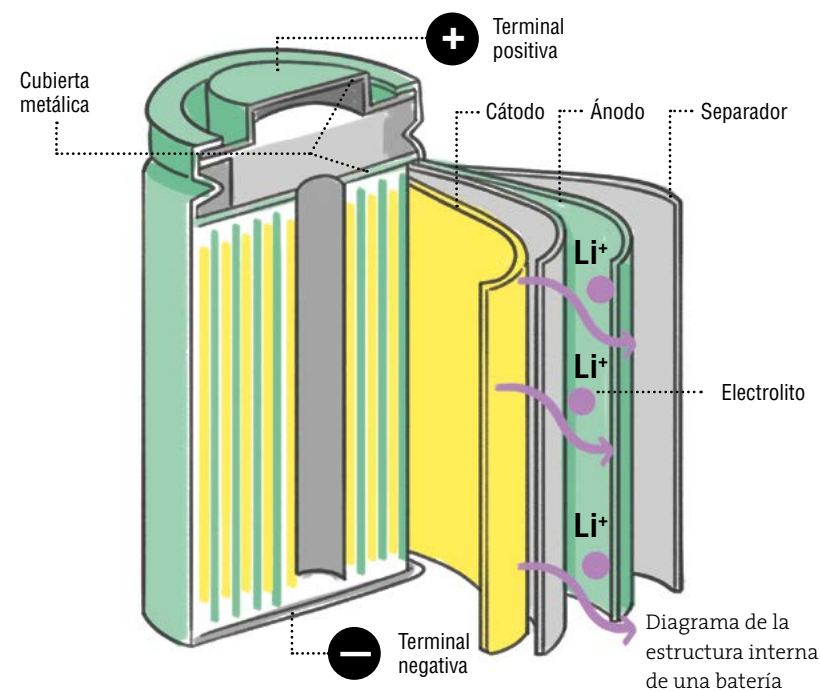
Para el desarrollo de nuevas tecnologías de baterías de ion-litio, Colombia tiene grandes oportunidades, tanto por la riqueza en minerales como el hierro, el níquel y el manganeso, como por la posibilidad de aprovechar las baterías de ion-litio provenientes de vehículos eléctricos en almacenamiento estacionario, para prolongar su vida útil y, en los procesos de economía circular, para recuperar los componentes.

Desde hace más de ocho años, el Grupo de Investigación CIDEMAT de la Universidad de Antioquia ha trabajado en el desarrollo de materiales activos —compuestos químicos que almacenan energía, como los óxidos de litio, el manganeso, el níquel, los fosfatos de litio y el hierro— para fabricar componentes de baterías de ion-litio de bajo costo, alta densidad energética y alta capacidad en la entrega de corriente eléctrica. Con dichos materiales se fabricaron las primeras celdas de ion-litio tipo moneda CR2032 y cilíndricas 18650 en el país. Este trabajo ha promovido avances en el desempeño de los componentes, el aumento de su vida útil y los procesos de economía circular.

El Grupo de Investigación CIDEMAT se consolida así como un pionero a nivel nacional en la producción local de baterías de ion-litio y en la conversión de las baterías residuales de movilidad eléctrica en sistemas de almacenamiento estacionario, contribuyendo a la transición energética mediante el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía, desde las capacidades del grupo en las áreas de la electroquímica y el desarrollo de nuevos materiales.

La estructura de una batería de ion-litio

Para entender la importancia que tienen las investigaciones realizadas sobre el desarrollo de materiales y componentes de baterías de ion-litio es necesario conocer la función de cada componente. Una



celda de ion-litio está compuesta por dos electrodos, uno es el cátodo o electrodo positivo y el otro es el ánodo o electrodo negativo, responsables de la conversión y el almacenamiento de la energía. Ambos están inmersos en un medio llamado electrolito, que permite transportar cargas eléctricas en forma de iones, entre los dos electrodos de la celda. La capacidad de una batería se define por la cantidad de cargas que puede entregar o recibir el metal de transición del material activo del cátodo, y por la cantidad de litio que se puede alojar en el interior de las estructuras laminares del grafito del ánodo. La vida útil y la seguridad de una celda de ion-litio se definen en gran medida por la estabilidad química tanto del electrolito como de los electrodos.

Innovación en materiales para baterías ion-litio

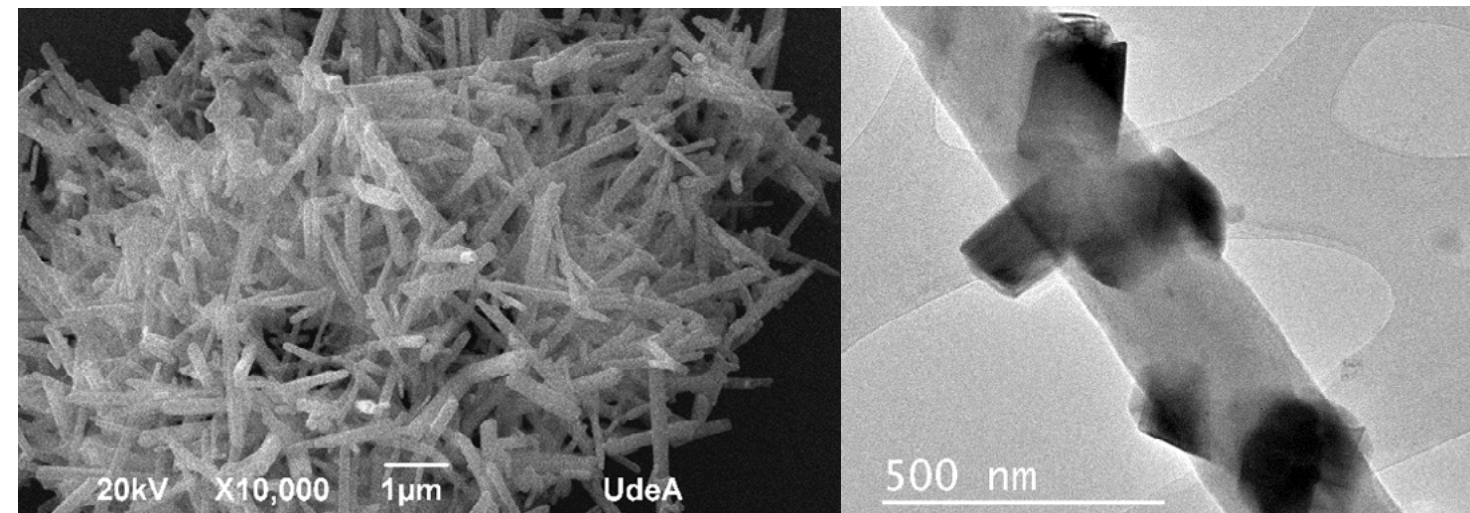
El CIDEMAT ha dedicado varias de sus investigaciones a mejorar cada uno de los componentes de las baterías de ion-litio. Mediante procesos optimizados de síntesis de materiales electroquímicamente activos se controlan la composición, la estructura, la forma y el tamaño de las partículas del material, para obtener otros que transforman de manera más eficiente la energía eléctrica en energía química, mejorando tanto la velocidad con la que los iones-litio se almacenan, como el incremento de la vida en uso de los dispositivos.

El grupo ha desarrollado materiales activos de cátodo del tipo óxidos sin cobalto y fosfatos de manganeso, con formas de nanoba-

rras y nanoplacas, con los que se fabrican los electrodos. De igual manera, se han desarrollado materiales activos de ánodo, como hilos de carbón de alta densidad energética con incorporación de magnetita, materiales híbridos orgánicos-inorgánicos y ánodos de grafito sintético, procesado a partir de residuos industriales.

Celdas más estables y seguras

Para mejorar la estabilidad y la seguridad de las celdas se han desarrollado electrolitos sólidos —no inflamables y químicamente estables— a base de sulfuros con estructura tipo perovskita y líquidos iónicos de alta estabilidad para sustituir los electrolitos convencionales conformados por sales de litio y solventes orgánicos (altamente reactivos e inflamables).



Materiales para cátodos de baterías con morfologías de nanobarras. Fotografía: Cortesía de los investigadores.

Materiales para ánodos de baterías en hilos carbón con magnetita incorporada. Fotografía: Cortesía de los investigadores.

Las investigaciones han avanzado, tanto en relación con los materiales que almacenan la energía como en función del componente que transporta los iones-litio entre el ánodo y el cátodo de la batería, incorporando electrolitos en estado sólido o líquidos iónicos que mejoran la vida útil y la seguridad de las baterías. A partir de los materiales desarrollados, se ha logrado fabricar celdas 18650 para ensamblar un *pack* que permita operar una aspiradora robot, las cuales, además de tener un alto desempeño en el almacenamiento de energía, permiten reducir los impactos ambientales por la sustitución del cobalto y el desarrollo de procesos de síntesis de baja generación de residuos y bajo consumo energético.

Un centro de diagnóstico para el reciclaje de baterías

Como grupo de investigación nos interesa el estudio de los componentes tóxicos que contienen las baterías y el manejo de las baterías después de que cumplan su vida útil. Para el año 2022 se vendieron en Colombia más de ocho mil unidades, entre vehículos eléctricos —BEV—, híbridos enchufables —PHEV— y motos eléctricas. Esto implicará la generación de casi cinco mil toneladas



Enrollado de electrodos durante el ensamble de una celda de ion-litio. Fotografía: Cortesía de los investigadores.

de residuos para el año 2029. Con el fin de impulsar la movilidad eléctrica y mitigar los impactos ambientales que generan las baterías cuando culminan su vida útil en sistemas de transporte eléctrico, el grupo de investigación pondrá en operación el primer centro de diagnóstico de baterías de ion-litio, con un equipo de profesionales de alta formación en sistemas de almacenamiento de energía y equipos con la capacidad de cubrir la demanda del mercado nacional.

El centro de diagnóstico pretende aprovechar los casi 500 GWh de capacidad de almacenamiento que se van a generar cada año por el remplazo de baterías en los vehículos eléctricos, para determinar posibles aplicaciones en segundos usos, entendiendo que cuando una batería termina su ciclo de uso en la movilidad eléctrica aún cuenta con la capacidad de operar al menos otros cinco años en sistemas de menores demandas, como los sistemas de almacenamiento estacionario, en los cuales no es necesario transportar permanentemente la batería ni se requiere entregar altas corrientes.

Para darles un segundo uso a las baterías que salen de la movilidad eléctrica, el grupo ha desarrollado sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Lo primero que debe hacerse es medir la capacidad actual —estimación del estado de salud o SOH, por sus siglas en inglés, *state of health*— de cada batería y clasificarlas de acuerdo a esta. Luego, un nuevo sistema de batería podrá ensamblarse en función de la necesidad del sistema de almacenamiento estacionario que se requiera. Igualmente, se deberá determinar la vida remanente de la nueva batería ensamblada mediante modelos predictivos. Una alternativa para verificarla es la instalación de sistemas de monitoreo remoto que permitan conocer las condiciones reales de operación de la nueva batería de segundo uso.

Usar hasta lo último: segunda vida y reciclaje de baterías

Se estima que con las baterías retiradas de la movilidad eléctrica cada año se pueden suministrar bancos de almacenamiento de energía para que unas treinta mil casas puedan operar con energía fotovoltaica y desconectadas de la red. Finalmente, para el aprovechamiento de las baterías que no son aptas para aplicaciones de segunda vida, se trabaja en procesos de reciclaje de componentes que permitan recuperar los materiales activos de las baterías y regenerar su estructura y su química, para incorporarlos nuevamente en la fabricación de ba-

terías de ion-litio. Todos estos procesos de reciclaje se enfocan en tratamientos limpios de bajo consumo de energía y reactivos, para hacerlos ambiental y económicamente viables.

Prepararse para los extremos: rutas futuras en el desarrollo de baterías

Entendiendo el impacto ambiental que genera cambiar la batería de un vehículo eléctrico cada siete años y los desafíos en cuanto a la seguridad y la operación a temperaturas extremas (bajo 0 °C y superiores a 60 °C), se debe seguir trabajando en el escalado de baterías todo sólido, en las cuales la vida útil se puede ampliar hasta treinta años. Con dichas baterías los riesgos de inflamabilidad podrían minimizarse, y se podría operar bajo condiciones extremas de frío o calor. En cuanto a la portabilidad, el grupo sigue trabajando en la innovación en metodologías de diagnóstico móviles de corta duración, que permitan diagnosticar en sitio las baterías de los vehículos con un alto nivel de confiabilidad.

Los cambios permanentes en las tecnologías de almacenamiento de energía, los desafíos que presentan en relación con la vida útil, la densidad energética y la seguridad, los conflictos geopolíticos por la escasez de algunos minerales fundamentales para la fabricación de baterías y el costo de los mismos hacen que sea necesario innovar permanentemente en el diseño de las baterías y en el uso de componentes de menor costo y menor impacto.

Este texto se deriva de los proyectos *Mixed metal oxides for high voltage Li-ion batteries: a searching by stability and safety*, con código: 2021-40110, financiado por la Universidad de Antioquia, y *Desarrollo de ensambles de baterías a partir de nuevos materiales y baterías reutilizadas para almacenamiento de un sistema solar fotovoltaico*, correspondiente al contrato 2023-0685 - proyecto 82459, financiado por Minciencias.