

Recepción: 23.10.2025

Revisión: 06.11.2025

Publicación: 15.01.2026

<https://orcid.org/0000-0002-5097-1345>

# LAS BATERÍAS DE ION-LITIO: FUNCIONAMIENTO, COMPOSICIÓN, PELIGROS E IMPACTO AMBIENTAL

LITHIUM-ION BATTERIES: OPERATION, COMPOSITION,  
HAZARDS, AND ENVIRONMENTAL IMPACT

José Antonio Guevara-García

Laboratorio de Investigación en Bioinorgánica y  
Biorremediación. Facultad de Cs. Básicas, Ingeniería  
y Tecnología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.  
Carr. a Apizaquito S/N, Apizaco, Tlaxcala, México.

Correos:  
[joseantonio.guevara@uatx.mx](mailto:joseantonio.guevara@uatx.mx)

## Resumen

En este artículo se aborda el tema de las baterías de ion-Li de una manera integral, es decir, en sus aspectos de su composición, principio de funcionamiento, problemáticas ambientales y sociales, y su reciclado. Derivadas de la discusión del funcionamiento e inactivación, se desprenden conclusiones que dan lugar a prácticas seguras de utilización y desecho, mientras que la mención del origen de los materiales componentes debe generar conciencia ecológica y social en el público para evitar el uso indiscriminado de estos y las prácticas abusivas de las corporaciones que los fabrican. También se hace mención del riesgo por contaminación con los metales componentes de las baterías, así como los riesgos potenciales para la salud humana que esto significa. Por último, se hace hincapié en los beneficios del reciclado para impulsar iniciativas en este sentido.

**Palabras clave:** baterías ion-Li, composición, funcionamiento, problemáticas, reciclado.

## Abstract

This article addresses Li-ion batteries comprehensively, including their composition, operating principles, environmental and social issues, and recycling. The discussion of their functioning and deactivation leads to conclusions that lead to safe use and disposal practices, while mentioning the origin of the component materials should raise environmental and social awareness among the public to avoid their indiscriminate use and the abusive practices of the corporations that manufacture them. Mention is also made of the risk of contamination with the metal components of batteries, as well as the potential risks to human health that this entails. Finally, the benefits of recycling are emphasized to promote initiatives in this regard.

**Keywords:** Li-ion batteries, composition, operation, problems, recycling.

## Introducción

Las baterías de ion-litio (BIL) son cada vez más utilizadas en nuestra sociedad. Son empleadas en teléfonos móviles, computadoras móviles, cámaras, vehículos eléctricos y dispositivos para almacenar energía solar y eólica; conforme avanza la tecnología de las BIL, los fabricantes logran un mayor voltaje por celda y cuentan con la densidad de carga más alta que cualquier otra tecnología comercial, mientras que funcionan en un amplio intervalo de temperatura con un número de ciclos de carga-descarga que va de 5000 a 10000 (Whittingham, 2020).

Las BIL están compuestas por varios metales valiosos como hierro, aluminio, níquel, cobre, litio y cobalto; este último es el de mayor interés a la hora de reciclar las BIL usadas, debido a su costo y poca abundancia (Choi, 2022). Cabe señalar que el 76% de cobalto producido a nivel mundial se utiliza en la industria de las BIL (Cobalt Institute, 2025). Mientras que el 87% de la producción mundial de litio se emplea en la producción de baterías (Government Canada, 2025), alcanzando una producción de 240,000 toneladas métricas en 2024, misma que necesitará incrementarse significativamente para 2030, debido al rápido aumento de la fabricación de automóviles eléctricos.

Cuando las BIL cumplen con su tiempo de vida útil estas simplemente son desechadas a la basura debido a la falta de una educación ecológica adecuada en el país. Actualmente, las prácticas de reciclaje de pilas y baterías en México son casi nulas, por lo que es importante incorporar técnicas de manejo de residuos que sean aprovechados en beneficio de la sociedad y el impacto positivo al medio ambiente (Parraguirre, 2019). Las BIL gastadas que terminan en tiraderos o simplemente son tiradas de manera irresponsable son causantes de la contaminación por cobalto (Co) y litio (Li) del suelo y de los cuerpos de agua subterránea, ya que cuando llueve sus componentes son lixiviados. Además, la gran demanda de BIL traerá consigo el agotamiento de Li y Co, dos recursos no renovables.

Pero el problema no se limita a la contaminación. En el Congo, unos 40,000 niños y niñas trabajan en las minas de cobalto (Frankel, 2016); en el triángulo del “oro blanco” entre Bolivia, Perú y Argentina, las plantas de extracción de litio depredan el agua mientras que las comunidades de la región tienen que abastecerse pagando camiones cisterna (Whoriskey, 2016); el grafito, soporte electrolítico de las BIL, se obtiene principalmente de China, a un alto costo ambiental: aire casi irrespirable, cultivos dañados, hogares y pertenencias cubiertas de hollín y agua potable contaminada (B&HRRC, 2017).

¿Qué podemos hacer como consumidores de estos dispositivos? Se ha remarcado que la sociedad debe cambiar el hábito de consumo devastador a una economía circular, donde el reciclado es la base del ciclo de vida de cada producto (Guevara-García & Montiel-Corona, 2014). En el contexto nacional, la generación de tecnología propia de reciclado y recuperación posibilitaría la creación de empresas, generando empleos, activando la economía y posibilitando las condiciones de independencia tecnológica, política y económica.

En este contexto, este artículo contribuye a la difusión del conocimiento en este tipo de dispositivos en los aspectos de su funcionamiento, composición, peligros e impacto ambiental, con el propósito de generar conciencia para impulsar iniciativas de investigación y desarrollo en el campo del reciclado de las BIL.

### Componentes de una batería de ion Litio

Una BIL convencional se compone de un cátodo, un ánodo, un separador, una disolución electrolítica, colectores (láminas de aluminio y cobre), carcasas protectoras y contenedores (Golmohammadzadeh, 2018). En la figura 1 se muestran los componentes que conforman una BIL y sus proporciones.



Contribución en peso (%): Ánodo 35, cátodo 18, plástico 6, electrolito 11, contenedor 26, pérdida 4.

Figura 1. Componentes de una Batería de Ion-Litio y su contribución en peso. Elaboración propia.

El cátodo poroso es el lado positivo de la batería, generalmente hecho de un óxido de metal de transición con un aglutinante polimérico y un aditivo conductor. El ánodo poroso es el lado negativo de la batería, generalmente hecho de grafito con un aglutinante polimérico y un aditivo conductor. El separador polimérico poroso permite que los iones de litio del electrolito viajen del ánodo al cátodo, pero impide el contacto eléctrico entre ambos electrodos.

Un colector de corriente de aluminio proporciona una vía para que los electrones entren y salgan del cátodo. El electrolito que llena el espacio poroso del ánodo, el separador y el cátodo, permitiendo que los iones de litio se muevan entre ambos electrodos.

El cátodo consiste en una lámina de aluminio recubierta con material catódico que contiene los metales valiosos principalmente como óxidos. Los materiales activos del cátodo están hechos de varios compuestos tales como  $\text{LiMPO}_4$  ( $M = \text{Co, Mn, Fe}$ ),  $\text{LiMO}_2$  ( $M = \text{Co, Ni, Mn}$ ) y en algunos casos  $\text{LiV}_3\text{O}_8$  y  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$

(Chagnes, 2013). A pesar de todos los avances tecnológicos, el  $\text{LiCoO}_2$  es el material catódico más común debido a la alta densidad de energía específica, que proporciona estabilidad al dispositivo (Zeng, 2014). Es el cátodo donde se encuentran el Li y el Co, los dos metales de mayor interés en una LIB usada.

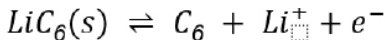
El ánodo consiste en una lámina de cobre que está recubierta con grafito. El electrolito de las BIL es una mezcla de sales de litio ( $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiAsF}_6$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$ ,  $\text{Li}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$  y  $\text{LiBF}_4$ ) y disolventes orgánicos (carbonato de dimetilo o carbonato de etileno y carbonato de dietilo) (Golmohammadzadeh, 2018), mientras que una película de fluoruro de polivinilideno (PVDF) separa el cátodo y el ánodo evitando el contacto eléctrico entre las respectivas láminas de aluminio y cobre (Gratz, 2014).

El material que inicialmente atrajo la atención de los investigadores fue la estructura en capas de los óxidos mixtos de Li ( $\text{LiMO}_2$ ), que incluyen los óxidos de cobalto y litio, los óxidos de níquel y litio, y el manganato de litio.

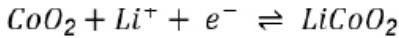
El  $\text{LiCoO}_2$  fue inicialmente descubierto por Goodenough como un material potencial para el desarrollo de baterías (Goodenough, 2018).

### Principio de funcionamiento y proceso de inactivación de las BIL

Batería cargada – descargada. Cuando la batería está completamente cargada, los átomos de litio se intercalan en el grafito del ánodo (Figura 2a). Cuando la batería se descarga, los iones de litio salen del ánodo y liberan un electrón. La reacción de media celda es,

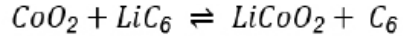


Los iones de litio viajan a través del electrolito hasta el cátodo. Ahí se intercalan en la estructura  $\text{CoIVO}_2$ , y los electrones que se mueven por el circuito externo, haciendo trabajo eléctrico útil, reducen al cobalto para formar el óxido mixto  $\text{LiCoO}_2$ , donde tenemos  $\text{CoIII}$ , la reacción de media celda en el cátodo es la siguiente,



Batería descargada – cargada. Cuando la batería está completamente descargada, los iones de litio se intercalan en el cátodo. Cuando la batería se carga, se produce la reacción inversa: los iones de litio salen del cátodo, pasando al ánodo y el

electrón, a su vez, circula por el circuito externo con la ayuda de una fuente de alimentación. La reacción total es la siguiente,



En la estructura cristalina del  $\text{LiCoO}_2$ , los octaedros de  $\text{CoO}_6$  y los correspondientes de  $\text{LiO}_6$  se conectan para formar una configuración entrelazada de capas de iones metálicos y de litio dentro de la celda unitaria hexagonal de iones óxido (Figura 2b) (Reimers & Dahn, 1992).

El  $\text{LiCoO}_2$  es un compuesto miembro de la serie  $\text{LiMO}_2$  ( $M=\text{V, Cr, Co, y Ni}$ ) que tienen la estructura en capas de la sal de roca. Esta estructura está basada en un empaquetamiento compacto de átomos de oxígeno con los iones  $\text{Li}^+$  y  $\text{M}^{3+}$  ordenados en planos (111) alternantes dentro de la estructura de sal de roca. Este ordenamiento (111) introduce una ligera distorsión de la red para adaptar simetría hexagonal. Por lo tanto, el  $\text{LiCoO}_2$  cristaliza en el grupo espacial  $R\bar{3}m$  con constantes de celda  $a = 2.816 \text{ \AA}$  y  $c = 14.08 \text{ \AA}$ . La estructura en capas es del tipo ABCABC que corresponde a las capas triangulares de  $\text{O-Li-O-Co-O-Li-O}$  (Reimers & Dahn, 1992) (Figura 2b).

Esta estructura permite la transmisión libre de iones  $\text{Li}^+$  en dos dimensiones.

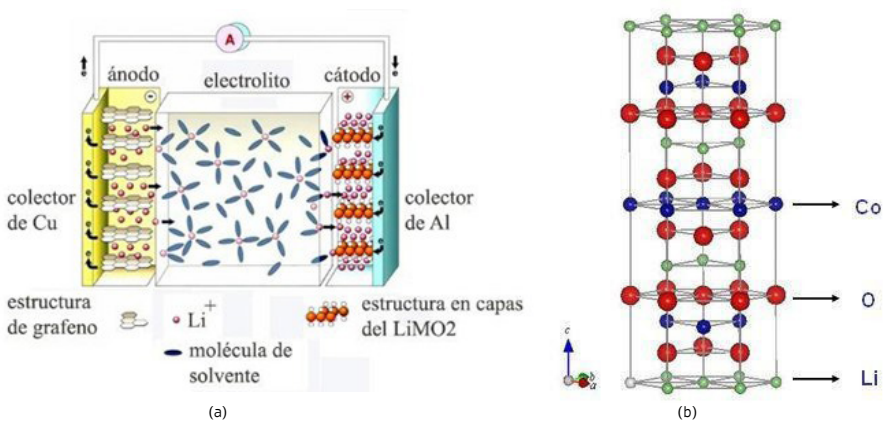


Figura 2. (a) Mecanismo de operación de una batería de ion Li en el modo de descarga. Modificado de Chen et al. (2015).

(b) Diagrama esquemático de la estructura cristalina del  $\text{LiCoO}_2$ , Tomado de Reimers y Dahn (1992).

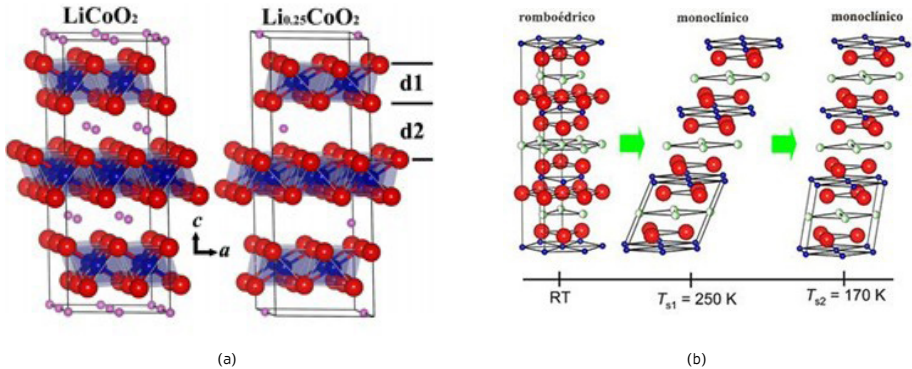


Figura 3. (a) Vistas esquemáticas de las estructuras atómicas del  $\text{LiCoO}_2$  y del  $\text{Li}_{0.25}\text{CoO}_2$  en representación de esferas y tubos. Las esferas en rojo, en azul, y las moradas, corresponden a los átomos de O, Co y Li, respectivamente. Tomado de Ren et al. (2023). (b) Vistas esquemáticas de las estructuras atómicas del  $\text{LiCoO}_2$  y del  $\text{Li}_{1.02}\text{Co}_{1.98}$ . Tomado de Mukai et al. (2013).

Durante la carga y descarga, el cambio de estado de oxidación del cobalto entre  $3+$  y  $4+$  involucra solo electrones en el nivel  $t_{2g}$ . Esto indica que la red octaédrica de iones no se disturba por la participación del nivel  $e_g$  durante el proceso (Xiong et al., 2012). Lo cual mantiene la estabilidad de la red durante la intercalación. Sin embargo, tanto experimentalmente como en la práctica, se ha demostrado que la capacidad del material es solo la mitad de la capacidad teórica ( $\sim 140$  mAh/g), y el material presenta serios problemas de seguridad debido a su rápida desestabilización en condiciones de carga a voltajes altos. La causa de esta desviación es el cambio de fase cristalina. Reimers & Dahn (1992) demostraron que cuando la extracción de  $\text{Li}^+$  excede 0.5, la estructura  $\text{LiCoO}_2$  cambia de un sistema hexagonal a uno monoclinico. En el  $\text{LiCoO}_2$  monoclinico el  $\text{Li}^+$  pierde la habilidad de escapar del cristal. Como esta transición de fase es irreversible, la capacidad de carga-descarga se pierde permanentemente (Figura 3a).

Pero también en la descarga profunda, es decir, cuando los iones  $\text{Li}^+$  llegan en exceso al cátodo, es posible el cambio de fase a un sistema monoclinico y la pérdida de la movilidad de los iones  $\text{Li}^+$  (Mukai et al., 2013), Figura 3(b).

Otras causas de pérdida de actividad son la formación de cristales de Li metálico en forma de agujas, dendritas, en un proceso que se denomina lithium plating, que puede aparecer por varias razones: aplastamiento, sobrecarga, altas temperaturas, inmersión en agua de mar, maltrato mecánico, cortocircuito (Yuan et al., 2024). Las agujas cristalinas de Li pueden atravesar el ánodo causando daños en el separador y producir cortocircuitos que causan el incendio de los dispositivos (Figura 4).



Figura 4. Fotografía de una batería de ion-Li que se incendió en el laboratorio del autor, durante una práctica. Elaboración propia.

Lo más común es encontrar baterías infladas. En un estudio reciente, Howard y col. (2025), encontraron que las baterías de tipo NCM 21700 (ver más abajo) fueron las más frecuentes y las que más producen gas en condiciones de abuso (alta temperatura y sobrecarga), generando entre 1.29-1.89 L/Ah de gas. La composición del gas varía según el tipo de batería, pero los gases más frecuentes son H<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub>.

### Diferentes tecnologías de las BIL

El contenido de metales en las BIL depende de la tecnología utilizada en su construcción. Es importante identificar en este caso cuál es la tecnología de la BIL utilizada en este trabajo como indicativo del tipo de BIL que se utilizan actualmente en nuestro país.

Las BIL comerciales actuales se clasifican en cinco tipos (Fan, 2020), a saber:

1. LiCoO<sub>2</sub> (LCO) series;
2. LiNi<sub>x</sub>CoyMnzO<sub>2</sub> (NCM,  $x + y + z = 1$ ) series;
3. LiNi<sub>x</sub>CoyAlzO<sub>2</sub> (NCA,  $x + y + z = 1$ ) series;
4. LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (LMO) series;
5. LiFePO<sub>4</sub> (LFP) series

Cabe destacar que aún las BIL de la misma tecnología presentan variaciones en su composición, debido a su origen, es decir, del fabricante, de la fuente de materia prima, del país, etc. También se sabe que los fabricantes introducen una cierta cantidad de Mn para disminuir la de Co, que es mucho más caro.

### Problemática ambiental causada por el desecho de baterías de Ion-Litio gastadas

La contaminación ambiental causada por la disposición de pilas y baterías usadas debería ser una de las mayores preocupaciones en México, debido al rápido crecimiento de su demanda

como fuentes de energía de equipos electrónicos portátiles, lo que, en ausencia de reciclado, produce miles de toneladas de residuos peligrosos por año (Hernández Pérez, 2019). Las baterías de Ion-Litio gastadas contienen materiales peligrosos, tóxicos, electrolitos inflamables, que representan una amenaza significativa para los sistemas ecológicos y la salud humana (Guo, 2017). Al ser desechadas las baterías de Ion-Litio debido a una mala educación ecológica generalmente son tiradas a la basura, posteriormente estas terminan en tiraderos y cuando llueve los metales contenidos en las LIB's gastadas son lixiviados lo que provoca contaminación del suelo y de las aguas subterráneas que en ocasiones son para el consumo de la población. La liberación de metales tóxicos como el litio (Li) y el cobalto (Co) al medio ambiente es un grave problema de contaminación que afecta la calidad del suelo y el agua, por lo que presenta un peligro directo para la salud humana (Lotfy, 2014).

### Contaminación ambiental por Co

La degradación del suelo se ha convertido en un problema mundial, principalmente debido a la deforestación, la erosión y, en particular, la contaminación con oligoelementos (Biro, 2011). La presencia de un contenido excesivo de oligoelementos en el suelo contribuye a una intensa absorción por los microorganismos y las plantas, y estos a su vez pasan a otros seres vivos a lo largo de la cadena trófica.

El contenido de cobalto natural del suelo es de hasta 40 mg/kg (Srivastava et al., 2022). La extracción intensiva de este elemento debido a su amplia aplicación en diversas industrias provoca que se supere el contenido permisible de Co en el suelo como ocurre en República Democrática del Congo y Zambia, donde se encuentran las minas de Co. Otra fuente de contaminación del suelo por Co son los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, como ocurre con las BIL's gastadas que son tiradas de manera irresponsable a la basura y que cuando llueve el Co, el Li y otros oligoelementos presentes en

estas son lixiviados y terminan siendo fuente de contaminación del suelo y en ocasiones de cuerpos de agua subterránea.

El cobalto se caracteriza por una importante movilidad en las plantas, pero depende de la especie (Srivastava et al., 2022). Las cantidades más grandes de Co se acumulan en las raíces, mientras que las más pequeñas en los tallos y hojas. Una alta acumulación de Co en las plantas provoca reducción del crecimiento y la aparición de necrosis, así como trastornos en la absorción de nutrientes. La absorción excesiva de Co por las plantas representa un problema significativo para su crecimiento y además puede llegar a causar problemas de salud en los seres humanos cuando estas plantas son consumidas de manera recurrente por una alta acumulación de Co, la toxicidad del cobalto tiene efectos perjudiciales para la salud humana, donde se sabe que causa problemas asmáticos, daño hepático e incluso insuficiencia cardíaca (Leysens, 2017).

### Problemática socioeconómica por la extracción de Co en el Congo

El cobalto es la materia prima más cara dentro de una batería de ion-litio, su precio fluctuó en el 2017-2018 de \$20,000 a \$26,000 USD/ton (Frankel, 2016; Fan, 2020). El desorden se manifiesta en las condiciones caóticas en que se da la extracción del mineral y las condiciones de vida infrahumanas de los trabajadores, que no se llaman a ellos mismos “mineros” sino “recolectores”, quizás en alusión a que realizan su labor “a mano” (sin herramientas adecuadas).

### Contaminación ambiental por Li

El litio es agregado al ecosistema por diversas fuentes, incluidas aguas residuales industriales y recursos hídricos cercanos cerca de la industria relacionada con el Li, salmueras de Li, la producción de baterías de Ion-Litio y también cuando estas son desechadas de manera incorrecta a la basura (Shahzad, 2016). Las concentraciones de Litio en el suelo son de 20 a 30 mg/kg. A diferencia del Co el Li es un metal ligero y no es un elemento esencial, aunque

tiene ciertos beneficios para los seres vivos, este metal al igual que el Co en altas concentraciones y largos periodos de exposición provoca efectos adversos en los seres humanos que son expuestos al litio (Robinson, 2018). El litio es tóxico para los seres humanos en dosis altas de concentraciones sanguíneas de 15 a 20 mg/L y causa náuseas, discapacidad visual, daño renal, coma y paro cardíaco, y últimamente se le ha asociado a disrupción endócrina (Chevalier et al., 2024)). Las vías comunes por las que el litio ingresa a la cadena alimentaria son el agua potable y las plantas, resultado de la contaminación por Li del suelo.

Los iones de litio pueden filtrarse y llegar al agua receptora debido a su característica de movilidad, ya que el Li se considera menos inmobilizado, en comparación con otros oligoelementos y metales pesados. Porque tiene una alta densidad de carga, lo que lo convierte en el más polarizante de todos los metales alcalinos y explica su tendencia a formar enlaces covalentes (Wei et al., 2025).



<https://www.interempresas.net/Electronica/346642-La-basura-electronica-ya-es-la-principal-amenaza-para-el-planeta.html>

### Problemática socioeconómica por la extracción de Li en América Latina

La problemática socioeconómica consecuencia de la extracción de litio se desplaza a América Latina; el triángulo del “oro blanco” se encuentra entre Bolivia, Perú y Argentina. Aunque se estima que las reservas de litio son suficientes para los siguientes 300 años, las condiciones en

las que se extrae el mineral son apenas menos grotescas que el cobalto, pero iguales en términos de la explotación de la gente que realiza esta labor; las compañías mineras obtienen estratosféricas sumas de dinero por la comercialización del litio que extraen de la región, pero las comunidades que poseen la tierra se empobrecen rápidamente, luchan para pagar los sistemas de alcantarillado, agua potable y calefacción para las escuelas. El asunto del agua es crítico aquí: las plantas de extracción de litio, que utilizan grandes cantidades de este recurso, profundizarán la escasez existente en la región, que recibe menos de cuatro pulgadas de lluvia al año; todas las comunidades de la zona sufren escasez de agua y muchas de ellas ya se abastecen únicamente de los camiones cisterna (Whoriskey, 2016).

### Reciclado y recuperación de metales (Li y Co) a partir de baterías de ion-Litio gastadas

El reciclaje de baterías de ion-Li genera varios beneficios: ambiental, económico y social. En el aspecto ambiental, si extrapolamos a las Baterías de Ion-Li que potencialmente se pueden reciclar en México, esto nos arroja 834,701.13 kg CO<sub>2</sub>-eq/Kg de ahorro de emisiones. En el aspecto económico, el valor comercial de los metales recuperados se aproxima a 2.8 millones de USD, siendo esta la primera aproximación que se presenta. En el plano social, el reciclado puede cumplir un papel adicional al de ser una fuente alterna de materias primas: el de aliviar la presión entrópica en los sitios de extracción, lo cual se traduciría, entre otras cosas, en coadyuvar a recuperar los ecosistemas y mejorar las condiciones de vida de los pobladores de los sitios donde se realiza la extracción de metales y materias primas. Además, en el contexto nacional, la generación de tecnología propia posibilita la creación de empresas, generando empleos, activando la economía y posibilitando las condiciones de independencia tecnológica, política y económica (Parra Degante et al., 2019).

Los desechos electrónicos deben tratarse o reciclarse porque son una carga ambiental y

económica. Además, los desechos electrónicos contienen varios metales estratégicos en cantidades mucho mayores que los minerales por unidad de peso (Guevara-García & Montiel-Corona, 2014).

Por ello se han desarrollado varios métodos para la recuperación de iones Li y Co, pero cada vez se buscan técnicas con un enfoque amigable con el medio ambiente. Para reciclar las BLL's gastadas, existen varios enfoques que incluyen principalmente pirometalurgia, hidrometalurgia y bio-hidrometalurgia (Golmohammadzadeh, 2018).

### Conclusiones

Las baterías de ion-litio, con su alta densidad energética, han revolucionado nuestra sociedad haciendo que nuestra vida cotidiana haya cambiado en pocos años, pero no todos los cambios han sido benéficos, ha generado una alta dependencia de cobalto y litio, principalmente, y ha desatado impactos sociales en el Congo y América Latina que amenazan la continuidad de estos recursos. A su vez, la disposición irresponsable de estos dispositivos, cuando dejan de ser funcionales, agrava la liberación de metales pesados, que son una amenaza de contaminación tóxica de suelos y aguas.

La gestión de los residuos de baterías de ion-litio y la explotación de Li y Co exigen un cambio de paradigma, tendiente a adoptar una economía circular basada en el reciclaje y la recuperación de metales, que reduzca la huella ambiental y social de su extracción y permita reducir emisiones, mitigar la contaminación y generar empleo y valor económico.

Particularmente, en México, estamos ante una oportunidad de convertir este desafío en desarrollo verdaderamente sostenible. Para lograrlo, es imprescindible impulsar políticas públicas que promuevan la educación ambiental y fomenten la I+D nacional, y que, además, permitan alcanzar la soberanía tecnológica. Solo así cerraremos el ciclo de vida de las BLL y construiremos un modelo energético sostenible y justo.

## Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

## Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

**Los autores se descargan de responsabilidad** (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (*ChatGPT, COPILOT, etc.*) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Revista Digital Internacional de Divulgación Científica del Instituto de Ciencias por dar a conocer las diversas temáticas que deben ser conocidas por los lectores.

## Referencias

- B&HRR. (2017). Business & Human Rights Resource Centre. Sitio de internet <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/china-graphite-production-for-lithium-ion-batteries-causes-severe-environmental-pollution-complaints-by-villagers-are-suppressed/>
- Biro K., B. P. (2011). LAND USE/LAND COVER CHANGE ANALYSIS AND ITS IMPACT ON SOIL PROPERTIES IN THE NORTHERN PART OF GADARIF REGION, SUDAN. *Land Degradation and Development*, 90-102. doi:<https://doi.org/10.1002/ldr.1116>
- Chagnes Alexandre, B. P. (2013). A brief review on hydrometallurgical technologies for recycling spent lithium ion batteries. *Chem. Technol. Biotechnol.* 1191-1199. doi:<https://doi.org/10.1002/jctb.4053>
- Chen Xiangping, C. L. (2015). Sustainable Recovery of Metals from Spent Lithium-Ion Batteries: A Green Process. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 3104-3113. doi:<https://doi.org/10.1021/acsschemeng.5b01000>
- Chevalier, N., Guillou, P., Vigué, C., Fini, J. B., Sachs, L. M., Michel-Caillet, C., & Mhaouty-Kodja, S. (2024). Lithium and endocrine disruption: A concern for human health?. *Environment International*, 190, 108861.
- Choi, J. W., Cho, C. W., & Yun, Y. S. (2022). Organic acid-based linear free energy relationship models for green leaching of strategic metals from spent lithium-ion batteries and improvement of leaching performance. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127214.
- Cobalt Institute. Consultado en septiembre de 2025. Sitio de internet <https://www.cobaltinstitute.org/>
- Fan, E., Li, L., Wang, Z., Lin, J., Huang, Y., Yao, Y., ... & Wu, F. (2020). Sustainable recycling technology for Li-ion batteries and beyond: challenges and future prospects. *Chemical reviews*, 120(14), 7020-7063.
- Frankel, T. C. (30 de September de 2016). THE COBALT PIPELINE. Obtenido de The Washington Post: <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/congo-cobalt-mining-for-lithium-ion-battery/?noredirect=on>
- Golmohammadzadeh Rabeeh, F. F. (2018). Recovery of lithium and cobalt from spent lithium ion batteries (LIBs) using organic acids as leaching reagents: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 418-435. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.024>
- Goodenough, J. B. (2018). How we made the Li-ion rechargeable battery. *Nature Electronics*, 1(3), 204-204.
- Government Canada. Lithium facts. Consultado en septiembre de 2025. Sitio de internet <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/lithium-facts>
- Gratz Eric, Q. S. (2014). A closed loop process for recycling spent lithium ion batteries. *Power Sources*, 255-262. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.03.126>
- Guevara-García, J.A., Montiel-Corona, V. (2014). Pushing Mexico to a Recycle Culture. En el Libro Mexico in Focus: Political, Environmental and Social Issues. José Galindo (Ed.). Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY, USA. Capítulo 6, pp. 141-176. Series: Latin American Political, Economic, and Security Issues. ISBN: 978-1-63321-885-7. Available at:
- Guo X., X. C. (2017). Recovery of lithium from the effluent obtained in the process of spent lithium-ion batteries recycling. *Environmental Management*, 84-89. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.062>
- Hernández Pérez, R., García Guzmán, L., Munive Rojas, M.A., Jaramillo Quintero, L.P., Guevara García, J.A. (2019). Reciclaje de pilas y baterías usadas. Parte 1: estudio estadístico. Colección Memorias de los Congresos de la Sociedad Química de México. 54° Congreso Mexicano de Química 38° Congreso Nacional de Educación Química. Trabajos estudiantiles y profesionales de Química Ambiental (QAMB), 100-104. Obtenido de [sqm.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=259:c-memorias-2019&catid=28&Itemid=101](http://sqm.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=259:c-memorias-2019&catid=28&Itemid=101)
- Howard, G. E., Buston, J. E., Gill, J., Goddard, S. L., Mellor, J. W., & Reeve, P. A. (2025). The Effects of Cell Chemistry, State of Charge, and Abuse Method on Gas Generation in Li-Ion Cell Failure. *Batteries*, 11(9), 320.
- Howard, G. E., Buston, J. E., Gill, J., Goddard, S. L., Mellor, J. W., & Reeve, P. A. (2025). The Effects of Cell Chemistry, State of Charge, and Abuse Method on Gas Generation in Li-Ion Cell Failure. *Batteries*, 11(9), 320. [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=51817&osCsid=fa5fd42131c7f767ea0e87e28ce](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=51817&osCsid=fa5fd42131c7f767ea0e87e28ce)

- Leysens L., B. V. (2017). Cobalt toxicity in humans—A review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicology*, 43-56. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.05.015>
- Lotfy S.M., A. M. (2014). Phytoremediation of contaminated soil with cobalt and chromium. *Geochemical Exploration*, 367-373. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.07.003>
- Mukai, K., Kishida, Y., Nozaki, H., & Dohmae, K. (2013). Structural Phase Transition from Rhombohedral (R 3 m) to Monoclinic (C 2/m) Symmetry in Lithium Overstoichiometric Li1+ Co1- O2- . *Chemistry of Materials*, 25(14), 2828-2837.
- Mukai, K., Kishida, Y., Nozaki, H., & Dohmae, K. (2013). Structural Phase Transition from Rhombohedral (R 3 m) to Monoclinic (C 2/m) Symmetry in Lithium Overstoichiometric Li1+ Co1- O2- . *Chemistry of Materials*, 25(14), 2828-2837.
- Parra Degante, J., Hernández Cortes, J., Mendoza Sarmiento, G., Guevara García, J.A. (2019). Reciclado de pilas y baterías III. Recuperación de metales y manejo sustentable. Colección Memorias de los Congresos de la Sociedad Química de México. 54° Congreso Mexicano de Química 38° Congreso Nacional de Educación Química. Trabajos estudiantiles y profesionales de Química Ambiental (QSUS), 18-39. Obtenido de [sqm.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=259:c-memorias-2019&catid=28&Itemid=101](http://sqm.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=259:c-memorias-2019&catid=28&Itemid=101)
- Parraguirre Cuéllar, K., Sánchez López, U., Sánchez González, P., González Contreras, B.M., Guevara García, J.A. 2019. RECICLADO DE PILAS Y BATERÍAS II. ECONOMÍA ENERGÉTICA. COLECCIÓN MEMORIAS DE LOS CONGRESOS DE LA SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO. 54° Congreso Mexicano de Química y 38° Congreso Nacional de Educación Química Trabajos estudiantiles y profesionales de Química Ambiental (QAMB). Pag. 96-104. ISSN 2448-914X
- Reimers J, Dahn J. Electrochemical and in situ X-ray diffraction studies of lithium intercalation in LiXCoO2. *J Electrochem Soc.* 1992;139(8):2091-2097
- Ren, J., Zhu, H., Fang, Y., Li, W., Lan, S., Wei, S., ... & Liu, Q. (2023). Typical cathode materials for lithium ion and sodium ion batteries: From structural design to performance optimization. *Carbon Neutralization*, 2(3), 339-377
- Robinson Brett H., R. Y. (2018). Lithium as an emerging environmental contaminant: Mobility in the soil-plant system. *Chemosphere*, 1-6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.012>
- Shahzad Babar, M. T. (2016). Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities – A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 104-115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034>
- Srivastava, P., Bolan, N., Casagrande, V., Benjamin, J., Adejumo, S. A., Sabir, M., & Farooqi, Z. U. R. (2022). Cobalt in soils: sources, fate, bioavailability, plant uptake, remediation, and management. In *Appraisal of Metal (Ioids) in the Ecosystem* (pp. 81-104). Elsevier.
- Wei, W., Pu, S., Yan, C., Yang, H., & Chen, H. (2025). Exploring the mechanisms of lithium neurotoxicity based on network toxicology and molecular docking. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 292, 117911.
- Whittingham, M. S. (2020). Lithium batteries: 50 years of advances to address the next 20 years of climate issues. *Nano Letters*, 20(12), 8435-8437.
- Whoriskey, T. C. (19 de December de 2016). TOSSED ASIDE IN THE "WHITE GOLD" RUSH. Obtenido de The Washington Post: <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/tossed-aside-in-the-lithium-rush/?tid=batterieseriesnav>
- Yuan, Y., Wang, H., Han, X., Pan, Y., Sun, Y., Kong, X., ... & Ouyang, M. (2024). The local lithium plating caused by anode crack defect in Li-ion battery. *Applied Energy*, 361, 122968.
- Zeng Xianlai, J. L. (2014). Recycling of Spent Lithium-Ion Battery: A Critical Review. *Environmental Science and Technology*, 1129-1165. doi:<https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763578>