



SHUTTERSTOCK

GUÁRDALO PARA DESPUÉS

LAS BATERÍAS NOS MANTIENEN ENERGIZADOS

Por Chris Eboch



SHUTTERSTOCK

En 2010, un potente terremoto de magnitud 7.1 azotó Haití. Las organizaciones de ayuda internacional corrieron hasta allí para proporcionar alimentos, medicinas y refugio, pero se pasó por alto la necesidad de luz y una forma de alimentar los teléfonos móviles de emergencia.

Si bien las baterías pueden proporcionar energía cuando no hay red eléctrica disponible, las luces y los teléfonos celulares consumen mucha energía y, por lo tanto, sus baterías deben reemplazarse o recargarse periódicamente—un desafío durante una crisis.

Andrea Sreshta y Anna Stork se inspiraron para desarrollar luces solares económicas con cargadores de teléfono integrados. Actualmente, grupos humanitarios distribuyen linternas solares en zonas de desastre o de guerra, las utilizan los excursionistas en zonas remotas y las guardan en los hogares en caso de cortes de energía.

Los productos que funcionan con energía solar recolectan energía del sol y la almacenan en baterías para usarla por la noche o en días nublados. Las baterías cargadas con energía solar también mueven el “rover” (dispositivo de exploración por control remoto) en Marte y apoyan experimentos científicos en áreas remotas.

Un proyecto de investigación en la Antártida necesitaba equipo para funcionar durante el invierno después de la partida de los científicos. Las baterías del tamaño de un automóvil con paneles solares adjuntos almacenan suficiente energía para funcionar durante aproximadamente dos semanas sin sol.

"Cuando sale el sol, el panel solar comienza a cargar la batería", dice la científica principal Pnina Miller. "El equipo se vuelve a encender solo. Luego regresamos en verano y recuperamos los datos", dijo.

Si bien la energía solar tiene el potencial de alimentar todo, desde luces hasta hogares enteros, es tan buena como su batería de almacenamiento. Las baterías pueden mantener las cosas funcionando en entornos extremos o en nuestra vida diaria, pero conllevan desafíos y costos.

LOS BENEFICIOS DE LAS BATERÍAS

En términos científicos, la energía es la capacidad de realizar un trabajo. La vida moderna utiliza energía para el transporte, el funcionamiento de aparatos electrónicos, la alimentación de electrodomésticos, la iluminación y la calefacción y refrigeración de edificios, y la cantidad de energía que utiliza la gente crece con cada generación.

Lamentablemente, alrededor de dos tercios de la energía producida en todo el mundo se pierden antes de llegar a los clientes. La energía se pierde a medida que se convierte en electricidad, principalmente en forma de energía térmica. A veces la energía se utiliza mal: las luces permanecen encendidas en habitaciones vacías, los equipos obsoletos no funcionan de manera eficiente, mientras que otra energía se recolecta, pero no se utiliza.

Las baterías pueden almacenar energía mediante electroquímica, en la que la electricidad se genera mediante el movimiento de electrones de un elemento a otro en una reacción conocida como oxidación-reducción o redox para abreviar.



Los cargadores que funcionan con energía solar pueden recargar la batería de su teléfono celular.

SHUTTERSTOCK

En una reacción redox, una especie pierde electrones a medida que se oxida, mientras que otra especie gana electrones a medida que se reduce. Una celda electroquímica convierte la energía química en energía eléctrica o toma energía eléctrica y la convierte en energía química.

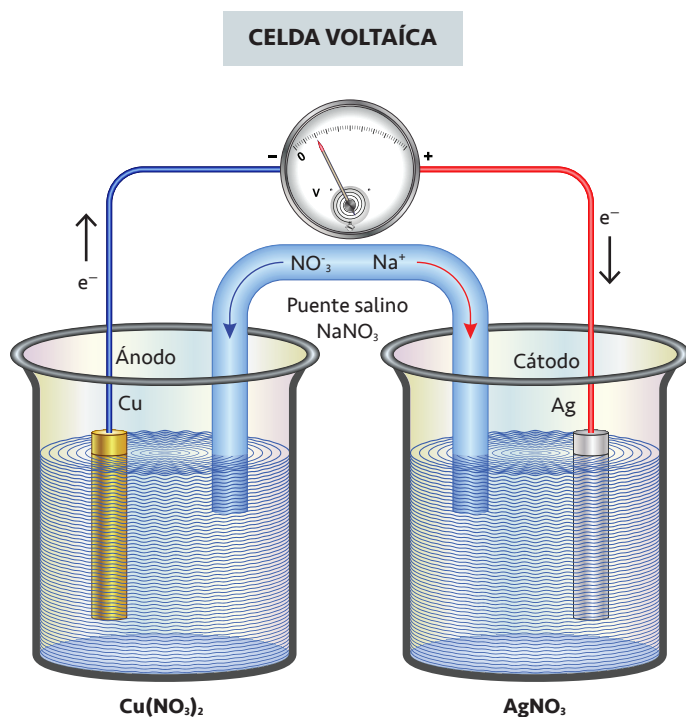
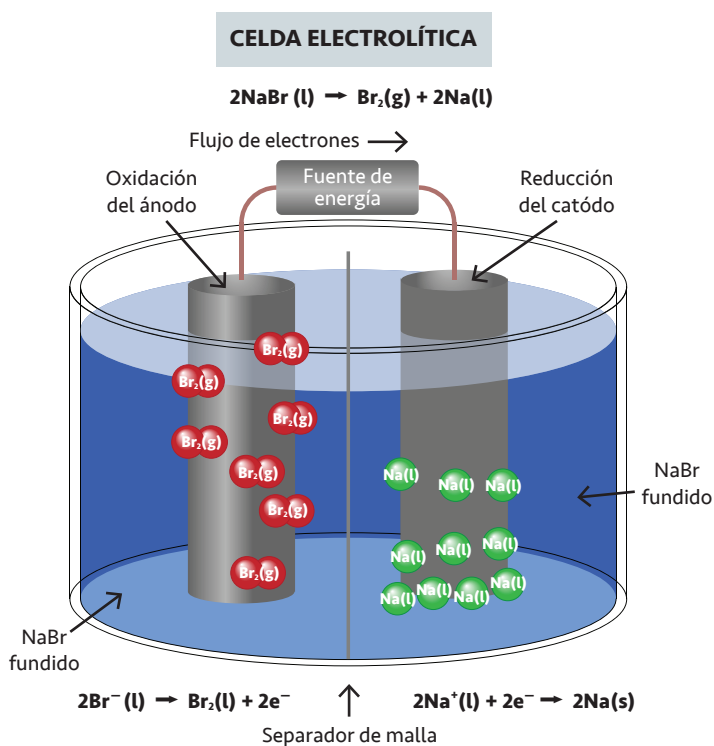
Cada batería es una celda electroquímica o una serie de celdas. Cada celda contiene dos electrodos: el cátodo, donde tiene lugar la reducción (ganancia de electrones), y el ánodo, donde tiene lugar la oxidación (pérdida de electrones).

Estos electrodos son conductores eléctricos que se utilizan para hacer contacto con un electrolito: una sustancia, generalmente un líquido, que contiene iones. Los iones son átomos o moléculas con carga eléctrica.

Las celdas electroquímicas que funcionan espontáneamente (una reacción ocurre por sí sola) para producir un flujo de electrones a través de una reacción redox espontánea son celdas voltaicas, mientras que las celdas electroquímicas que usan energía eléctrica para impulsar una reacción redox no espontánea son celdas electrolíticas.

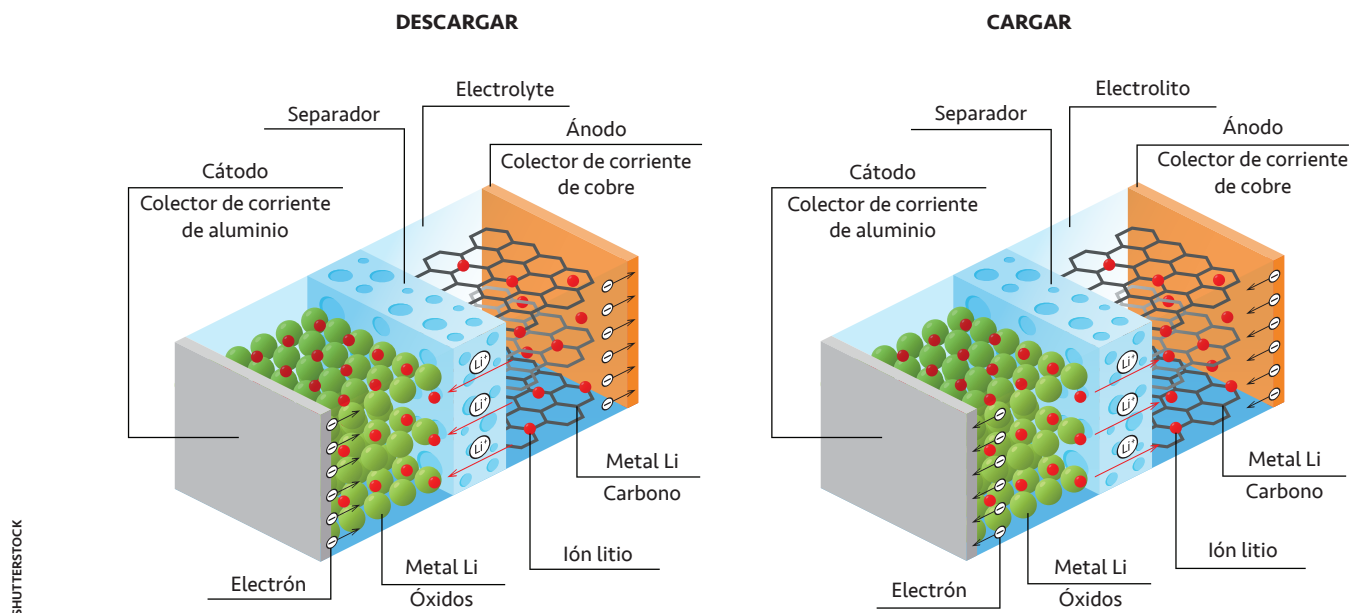
Las baterías recargables, como las de su teléfono celular o computadora portátil, actúan como celda voltaica y electrolítica. Cuando usas tu dispositivo, pero no está enchufado, las baterías se descargan espontáneamente: una celda voltaica.

Luego, cuando recargas la batería, se convierten en celdas electrolíticas, donde la electricidad fluye hacia el sistema desde la fuente de energía. Esto no es espontáneo y obliga a invertir el flujo de electrones e iones.



SHUTTERSTOCK

BATERÍA DE IONES DE LITIO



La distinción entre descarga y carga en una batería de iones de litio radica en la dirección del flujo de electrones. Cuando se descarga, la reacción es espontánea y los electrones se mueven desde el litio dentro del grafito a través del dispositivo hasta el óxido metálico. Cuando se carga, la reacción se invierte mediante una fuente de energía externa y los electrones se mueven del óxido metálico al grafito y al litio.

Ya sea que su batería acepte o libere energía, no sucede nada hasta que se acopla a un circuito externo. Los electrones deben tener un camino completo para fluir.

El mérito de la primera batería utilizable generalmente se le atribuye al físico italiano Alessandro Volta, quien construyó una batería simple a principios del siglo XIX. Su dispositivo de pila voltaica utilizaba discos alternos de zinc y plata.

Volta separó los discos con capas de tela o papel empapado en hidróxido de sodio o agua salada para formar el electrolito. La pila de Volta sufrió una reacción espontánea y, por eso, las células electroquímicas espontáneas se denominan células voltaicas.

Alrededor de 1834, Michael Faraday experimentó con la pila voltaica y derivó las leyes cuantitativas de la electroquímica, el estudio de cómo la electricidad se relaciona con las reacciones químicas. La electricidad puede generarse mediante movimientos de electrones de un elemento a otro.

Los avances en materiales finalmente produjeron baterías más pequeñas y potentes, que ahora se utilizan en todo tipo de equipos portátiles.

¿DESECHABLES O RENOVABLES?

Las baterías recargables funcionan de la misma manera que las no recargables, excepto que la reacción redox se puede revertir utilizando una fuente de energía externa. Por ejemplo, conectar un cargador de batería a un tomacorriente de pared proporciona voltaje de corriente continua para recargar la batería.

Las baterías recargables se pueden utilizar cientos de veces, lo que retrasa la necesidad de baterías nuevas. Eso significa menos extracción de recursos, menos energía gastada en reciclar baterías agotadas y menos materiales tóxicos en los vertederos.

Entonces, ¿por qué tenemos baterías desechables? Son más baratos y pueden mantener la carga durante años cuando no se usan, lo que los hace mejores para artículos importantes pero que rara vez se usan, como linternas de emergencia.

Las baterías desechables de yodo de litio se utilizan en implantes médicos como marcapasos y en lugares donde es difícil reemplazar o recargar las baterías. Estas baterías utilizan un ánodo de litio y un complejo sólido de yodo (I_2) como cátodo. Los electrodos están separados por una capa de yoduro de litio sólido (LiI), que actúa como electrolito al permitir la difusión de iones Li^+ . El electrolito sólido provoca resistencia, por lo que sólo se puede extraer una corriente baja, pero son fiables y duran mucho tiempo.

BATERÍAS RECARGABLES DE IONES DE LITIO

Entre las opciones recargables, las baterías de iones de litio (LIB) son comunes para uso

doméstico. Las LIB tienen un ánodo hecho de grafito muy puro (el mismo material que se encuentra en un lápiz), y el cátodo está hecho de un óxido metálico mixto que contiene litio, oxígeno y un elemento de transición como el cobalto. Los electrones fluyen entre estos electrodos a través de un dispositivo, mientras que los iones de litio viajan a través del separador.

Cuando la batería se descarga, los átomos de litio almacenados en el ánodo de grafito se oxidan, creando cationes y electrones de litio. Los electrones viajan a través del dispositivo, mientras que los cationes de litio se mueven a través del electrolito hasta el cátodo. En el cátodo, los electrones reducen el cobalto haciendo que el óxido metálico tenga carga negativa. Esta carga negativa se equilibra con los cationes de litio entrantes.

Cuando la batería está cargada, el flujo de electrones se invierte. El cobalto se oxida y la fuente de energía externa empuja los electrones de regreso al grafito. A medida que el óxido metálico pierde su carga negativa y el grafito la gana, los iones de litio son atraídos nuevamente hacia el grafito. Luego, la carga se transfiere del grafito a los cationes de litio para formar átomos de litio neutros.

Aunque son relativamente caras, las LIB funcionan bien en dispositivos como computadoras portátiles y teléfonos celulares, particularmente aquellos que consumen energía rápidamente.

EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BATERÍAS

Además, las LIB se utilizan a menudo para almacenar energía en la red eléctrica y en vehículos eléctricos (EVs). Las personas que compran vehículos eléctricos generalmente quieren ayudar al medio ambiente reduciendo las emisiones de carbono y minimizando la dependencia de los combustibles fósiles; desafortun-

¿CÓMO OBTUVO SU NOMBRE LA BATERÍA?

Por Michele Hathaway

Las baterías están en todas partes: en linternas, alarmas de incendio, teléfonos celulares, automóviles, controles remotos, videojuegos y cientos de otros dispositivos. Imagina una vida sin baterías. ¡Eso cambiaría todo! Pero, ¿por qué las llamamos baterías y qué significan todas esas letras y números?

Benjamín Franklin (1706-1790 d.C.), padre fundador de los Estados Unidos, acuñó el término batería, una palabra militar para armas que funcionan juntas, para describir un grupo de frascos de Leyden unidos entre sí.

Las jarras de Leyden fueron la primera forma de condensador, un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica.

Si bien Franklin utilizó el término baterías para sus frascos de Leyden, los condensadores son fundamentalmente diferentes de las baterías. Un condensador es un dispositivo de almacenamiento de carga, mientras que las baterías convierten la energía química en electricidad.

LA PRIMERA BATERÍA

Cuando Alessandro Volta (1745-1827 d.C.), físico y químico italiano, inventó la primera batería en 1800, adoptó el término de Franklin y el nombre permaneció.

La batería de Volta era una pila voltaica, que consistía en capas alternas de zinc metálico y cobre o plata separadas por un paño empapado en agua salada. Cuando se unía un cable a extremos alternativos, zinc y cobre, por ejemplo, se producía una corriente eléctrica constante a medida que el zinc se oxidaba (perdía electrones) y el agua de las toallas húmedas se reducía (ganaba electrones) a gas hidrógeno.

Los iones se movían a través del papel húmedo para mantener una carga eléctricamente neutra en general, y los electrones eran atraídos por el cable conectado a los extremos. La unidad de potencial eléctrico, el voltio, lleva el nombre de su inventor.

¿CÓMO FUNCIONAN LAS BATERÍAS ALCALINAS?

Las baterías están compuestas por una o más celdas electroquímicas. Cada celda consta de dos electrodos separados por un electrolito: el ánodo donde se produce la oxidación y el cátodo donde se produce la reducción.

En una batería alcalina típica, el ánodo está hecho de polvo de zinc. El Zn se oxida según la siguiente reacción:



Cuando los electrodos de la batería se conectan con un cable o dispositivo, estos electrones fluyen hacia el cátodo, que es el lugar de reducción.

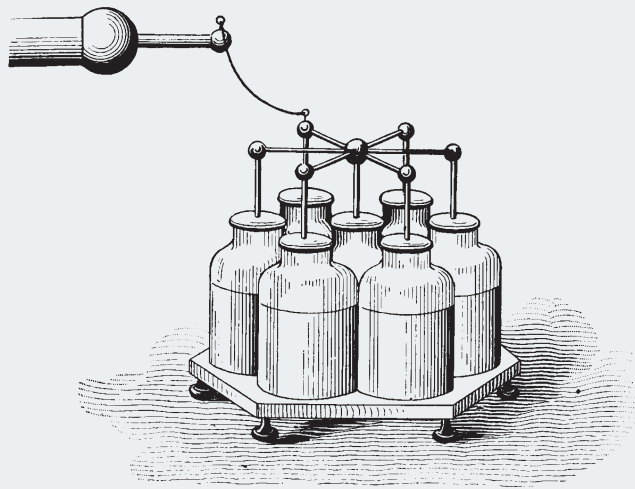
El cátodo de dióxido de manganeso en una batería alcalina se reduce según la siguiente ecuación:



El flujo de electrones del ánodo al cátodo es lo que alimenta el dispositivo; es lo que llamamos electricidad.

¿Qué pasa con el electrolito? Una batería alcalina típica utiliza una pasta de hidróxido de potasio (KOH) o cloruro de amonio (NH₄Cl) como electrolito.

KOH es lo que da nombre a las baterías alcalinas; es un metal alcalino



Batería de Jarras de Leyden. Las jarras de Leyden podrían conectarse entre sí para producir más electricidad a la vez.

que acepta iones hidróxido en soluciones acuosas. En este caso, el KOH está presente en forma de pasta y su finalidad es mantener el sistema eléctricamente neutro.

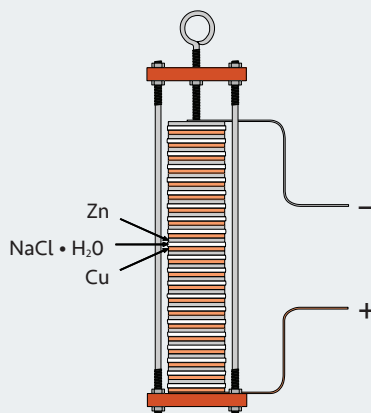
Entonces, mientras el cable externo proporciona una vía para el flujo de electrones, el electrolito proporciona una vía para la transferencia de iones cargados. Sin este equilibrio, la reacción dejaría de funcionar.

¿LO QUE HAY EN UN NOMBRE?

En los siglos transcurridos desde el descubrimiento de Volta, las baterías se han convertido en fuentes de energía muy útiles y necesarias, y se desarrollaron muchos tipos y tamaños de baterías para satisfacer diferentes necesidades.

Hoy en día, las baterías pueden recibir nombres por su tamaño, química y voltaje. Las baterías alcalinas típicas se nombran alfabéticamente por tamaño; Originalmente, la A era la más pequeña y el tamaño avanzó a través del alfabeto hasta llegar a la más grande.

A medida que la electrónica evolucionó, los científicos fabricaron baterías más pequeñas que el tamaño A, a las que denominaron AA y AAA. Incluso hay baterías AAAA, que se utilizan en punteros láser, medidores



Una pila voltaica. El zinc sirve como ánodo, mientras que el cobre sirve como cátodo. Cuando el terminal positivo y el terminal negativo están conectados, el circuito se completa y los electrones fluyen a través del cable.

de glucosa y termómetros digitales

Con el tiempo, algunos tamaños y tipos de baterías simplemente se agotaron cuando las reemplazaron baterías más nuevas y, a menudo, más pequeñas.

Las baterías como A y B no se usan comúnmente ahora, mientras que C y D todavía se usan en linternas. Las baterías pueden ser de diferentes tamaños y tener el mismo voltaje. Esto se debe a que el voltaje es la diferencia de potencial que impulsa el movimiento de los electrones a través de un circuito eléctrico y es una propiedad intrínseca, una propiedad que es independiente de la cantidad de material presente. Por ejemplo, la densidad del agua es 1.0 g/mL a 25 °C, ya sea que tenga una gota o suficiente para una piscina. La densidad es, por tanto, una propiedad intrínseca. Pero la masa de una sustancia depende de la cantidad que tenga, lo que la convierte en una propiedad extrínseca.

Entonces, si bien las baterías más grandes tienen más material, no producen más voltaje que las baterías más pequeñas, pero pueden alimentar dispositivos que requieren más potencia, o energía por unidad de tiempo. Según la Ley de Ohm: Potencia = Voltaje * Corriente.

Por ejemplo, una batería triple A (AAA) y una batería D tienen el mismo voltaje (1.5 V) porque están hechas de los mismos productos químicos, pero la batería D puede producir más corriente—la cantidad de electrones que pasan por un punto determinado durante un período de tiempo es mayor.

Una forma de ver esto es un balde de agua que tiene un cierto potencial, si conectas una tubería al balde, tiene una cierta corriente cuando el agua fluye. Una tubería más grande permite que fluya más agua y la corriente aumenta. De manera similar, una batería más grande permite que más electrones pasen a través del cable más rápido, aumentando su potencia.

NUEVOS NOMBRES DE BATERÍAS

Con tantos dispositivos nuevos y tantas baterías nuevas necesarias para alimentarlos, se hizo evidente que el alfabeto no iba a ser suficiente a la hora de nombrar. Nos íbamos a quedar sin letras. Podríamos seguir agregando As o encontrar una manera de identificar baterías nuevas.

La Comisión Electrotécnica Internacional adoptó el sistema de designación actual en 1992. Los tipos de baterías se designan con una secuencia de letras/números que indica el número de celdas, la química de las celdas, la forma de las celdas, las dimensiones y otras características especiales.

Las pilas de botón y de moneda, inventadas en la década de 1970, se utilizan para llaves, relojes, velas y zapatos que destellan o globos de nieve iluminados. Una pila de botón es redonda con un lado grueso y otro elevado. Las pilas de monedas tienen el mismo aspecto que su nombre: una moneda gruesa por ambos lados.

Las pilas de botón y de moneda reciben su nombre por su composición química, forma y tamaño. Por ejemplo, en la batería de botón CR2032, la primera letra representa el químico principal (litio) de la batería. La segunda letra es para la forma (redonda) y el número 2032 nos dice que el diámetro es de 20 mm y la altura es de 3.2 mm.

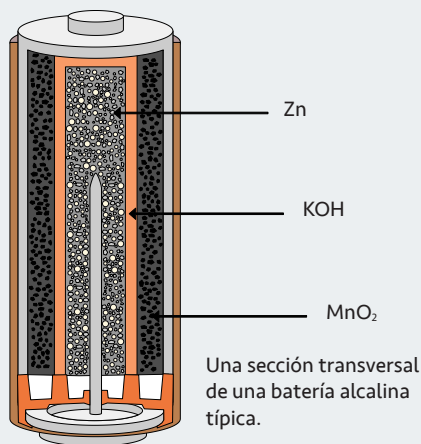
Con la demanda de energía limpia para reducir las emisiones de dióxido de carbono que afectan nuestro clima, las baterías son más importantes que nunca. Las baterías llegaron para quedarse. Nuestra forma de vida cambiará drásticamente sin ellos. Una cosa con la que podemos contar en el futuro es que aprenderemos más nombres de baterías nuevas

Michele Hathaway es una autora y editora independiente que vive en Albuquerque, Nuevo México.

REFERENCIAS

"Batería eléctrica" de las jarras de Leyden - El tricentenario de Benjamín Franklin. <http://www.benfranklin300.org/frankliniana/result.php?id=72> (consultado el 31 de diciembre de 2023).

Nomenclatura de estandarización de baterías ANSI e IEC. <https://www.microbattery.com/battery-standardization-nomenclature> (consultado el 8 de enero de 2024).



Viene de la página 7

adamente, las baterías de los vehículos eléctricos son otra fuente de contaminación.

"Los materiales más comunes utilizados en las LIB son el litio, el grafito y metales como el cobalto, el níquel y el manganeso", dice la química analítica Sarah Hendrickson, que ha trabajado en la investigación de baterías ecológicas.

"La minería del litio utiliza mucha agua—aproximadamente medio millón de litros o 130.000 galones de agua para extraer una tonelada de litio". La extracción de componentes de baterías ha provocado fugas de sustancias químicas tóxicas, sistemas de agua contaminados y envenenamiento de animales y mineros.

El daño no termina ahí. Las baterías en los vertederos pueden filtrar metales peligrosos y soluciones acuosas concentradas de sales potencialmente corrosivas. En algunos países, las regulaciones exigen el reciclaje de baterías para mantener la contaminación fuera de los vertederos y reducir la necesidad de nuevos materiales.

Pero el reciclaje no siempre resuelve el problema. La mayor parte del reciclaje de plomo se realiza en áreas económicamente desfavorecidas con pocos controles de contaminación, por lo que el plomo se libera al aire, el suelo y el agua. Además, el almacenamiento y manipulación inadecuados de las baterías provocan cientos de incendios cada año sólo en Canadá y Estados Unidos.

MEJORES BATERÍAS

Muchos gobiernos y empresas privadas están invirtiendo en investigación y comercialización de baterías alternativas. Los investigadores están trabajando para desarrollar baterías que utilicen materiales menos tóxicos y más fáciles de obtener.

Las baterías de litio-azufre utilizan un ánodo de litio con un cátodo de azufre y carbono en lugar de cobalto y níquel, eliminando algunos de los metales que causan daños ambientales cuando se extraen. Tienen mayor densidad de energía que los LIBs, lo que significa que almacenan más energía en la misma cantidad de material. Sin embargo, estas baterías se degradan rápidamente a medida que el azufre se pierde en el electrolito.

Las baterías de iones de sodio utilizan sodio en lugar de litio. Son muy eficientes, no requieren tanta extracción y son potencialmente más baratos, porque el sodio es más abundante que el litio. Sin embargo, tienen una densidad de energía menor que los LIBs. No pueden almacenar tanta energía en la misma cantidad de material, por lo que es difícil hacerlos pequeños y duraderos.

Los investigadores también están trabajando en baterías de litio-aire que utilizan un electrolito sólido, hecho de un material polimérico cerámico, en lugar de un electrolito líquido. Esto permite que la batería utilice oxígeno del aire y elimina el electrolito líquido corrosivo que se descompone con el tiempo y tiene fugas.

CELDA DE COMBUSTIBLE DE MEMBRANA ELECTROLÍTICA DE POLÍMERO (PEM)

Hay muchas áreas de investigación a medida que los científicos intentan construir baterías que funcionen mejor con menos impacto ambiental. Es un desafío identificar la "mejor batería", porque tienen muchos usos diferentes. Las necesidades de energía varían desde almacenamiento de energía en la red eléctrica, teléfonos celulares y alarmas de humo hasta dispositivos médicos implantados.

CELDA DE COMBUSTIBLE: ¿EL FUTURO?

Las pilas de combustible son otra gran área de investigación. Una batería normal contiene todos los reactivos que necesita para producir electricidad. Por el contrario, una pila de combustible necesita un suministro externo constante de reactivos.

Aunque esto parezca una desventaja, una pila de combustible seguirá generando electricidad mientras tenga suministro de combustible, sin necesidad de recargarla—una ventaja si el combustible es barato y abundante.

Las pilas de combustible de hidrógeno utilizan oxígeno e hidrógeno como combustible. El hidrógeno, almacenado en un depósito de combustible, se introduce en el ánodo. El oxígeno del aire se introduce en el cátodo. El catalizador de la pila de combustible acelera la reacción electroquímica.

Durante esta reacción, las moléculas de hidrógeno se dividen en dos iones de hidrógeno (H^+) y electrones. Los iones de hidrógeno viajan a través de una membrana de electrolito hasta el cátodo.

Mientras tanto, los electrones se ven obligados a viajar a través de un circuito externo, que proporciona energía al dispositivo o máquina. Luego, los electrones se unen a los iones de hidrógeno en el cátodo, donde reaccionan con un catalizador y moléculas de oxígeno para formar agua.

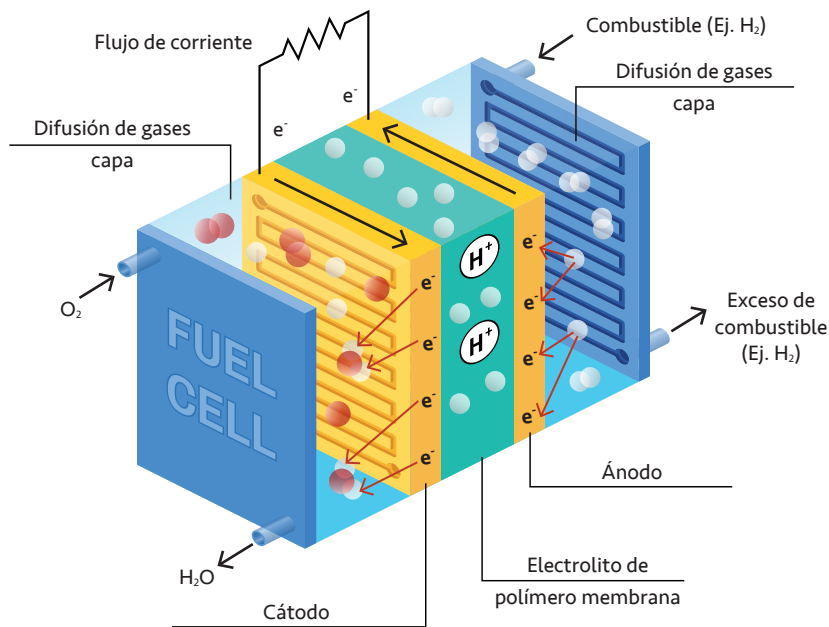
Las pilas de combustible de hidrógeno no producen emisiones nocivas como lo hace la quema de gasolina y, en teoría, este combustible puede producirse a partir de fuentes renovables. El oxígeno está en el aire. El hidrógeno se encuentra en el agua y las plantas.

Si bien el hidrógeno es el elemento más abundante en el universo, generalmente existe combinado con otras moléculas, por lo que no podemos extraerlo fácilmente del medio ambiente; pero las mejoras en la tecnología han hecho que sea, y seguirán haciéndolo, más fácil de producir.

Las pilas de combustible de membrana de electrolito polimérico utilizan una membrana polimérica como electrolito e hidrógeno como combustible. La pila de combustible de metanol directo también tiene una membrana de polímero como electrolito, pero utiliza metanol (un líquido) en lugar de hidrógeno gaseoso.

La NASA ha utilizado pilas de combustible alcalinas como fuente de energía eléctrica y agua potable en misiones espaciales. Utilizan un electrolito alcalino como hidróxido de potasio o una membrana alcalina. Varios otros tipos de pilas de combustible utilizan diferentes materiales como electrolito. Cada uno tiene ventajas y desventajas.

Varias empresas ya fabrican vehículos eléctricos que utilizan pilas de combustible de hidrógeno, pero estos



requieren una estación de abastecimiento de hidrógeno. En este momento, California es el único estado de EE.UU. que tiene estaciones de combustible de hidrógeno.

Los automóviles con pilas de combustible de hidrógeno no se volverán comunes hasta que el hidrógeno esté ampliamente disponible. Esa es una de las principales razones por las que ha sido difícil reemplazar los vehículos propulsados por gasolina—el sistema de combustible de gasolina ya está instalado.

LA BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS

El Departamento de Energía de Estados Unidos, laboratorios nacionales, universidades y empresas están trabajando juntos en estos temas. Las empresas gastan miles de millones de dólares cada año en investigar, desarrollar y producir baterías.

Pero al final, "no hay nada físico que puedas comprar que no tenga un impacto ambiental", dice Hendrickson. "Existe un mercado enorme para alternativas ecológicas a casi todos los productos. No existen pautas o requisitos reales para que algo se denomine "verde". Hay que profundizar más para determinar el costo o beneficio real, y las baterías no son una excepción".

Hendrickson sostiene que, con el tiempo, "las baterías serán más limpias y más potentes, tal como lo ha hecho el motor de combustión interna". Mientras tanto, podemos reducir el uso de energía, utilizar baterías recargables, presionar a las empresas para que desarrollen mejores baterías e intentar reciclarlas adecuadamente. "Mantenga la curiosidad y siga haciendo preguntas", añade Hendrickson. Quizás usted sea uno más de la próxima generación de científicos que lograrán avances que nos mantengan llenos de energía de manera segura.

Chris Eboch es un escritor científico que vive en Socorro, Nuevo México. Su artículo más reciente en *ChemMatters*, "Científicos locos y desinformación", apareció en la edición de febrero de 2024.

REFERENCIAS

Tipos de Baterías. PNNL. <https://www.pnnl.gov/explainer-articles/types-batteries> (consultado el 31 de diciembre de 2023).

Nast, C. El creciente costo ambiental de nuestra adicción a las baterías de litio. *Wired UK*. <https://www.wired.co.uk/article/lithium-batteries-environment-impact> (consultado el 31 de diciembre de 2023).

Cómo el sodio podría cambiar el juego de las baterías. *MIT Technology Review*. <https://www.technologyreview.com/2023/05/11/1072865/how-sodium-could-change-the-game-for-batteries/> (consultado el 31 de diciembre de 2023).

El nuevo diseño de la batería de litio-aire podría ofrecer una autonomía de conducción mucho mayor en comparación con la batería de iones de litio. Laboratorio Nacional Argonne. <https://www.anl.gov/article/new-design-for-lithium-air-battery-could-offer-much-longer-driving-range-compared-with-the-lithium-ion> (consultado el 31 de diciembre de 2023).

Celdas de combustible. *Energy.gov*. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells> (consultado el 31 de diciembre de 2023).